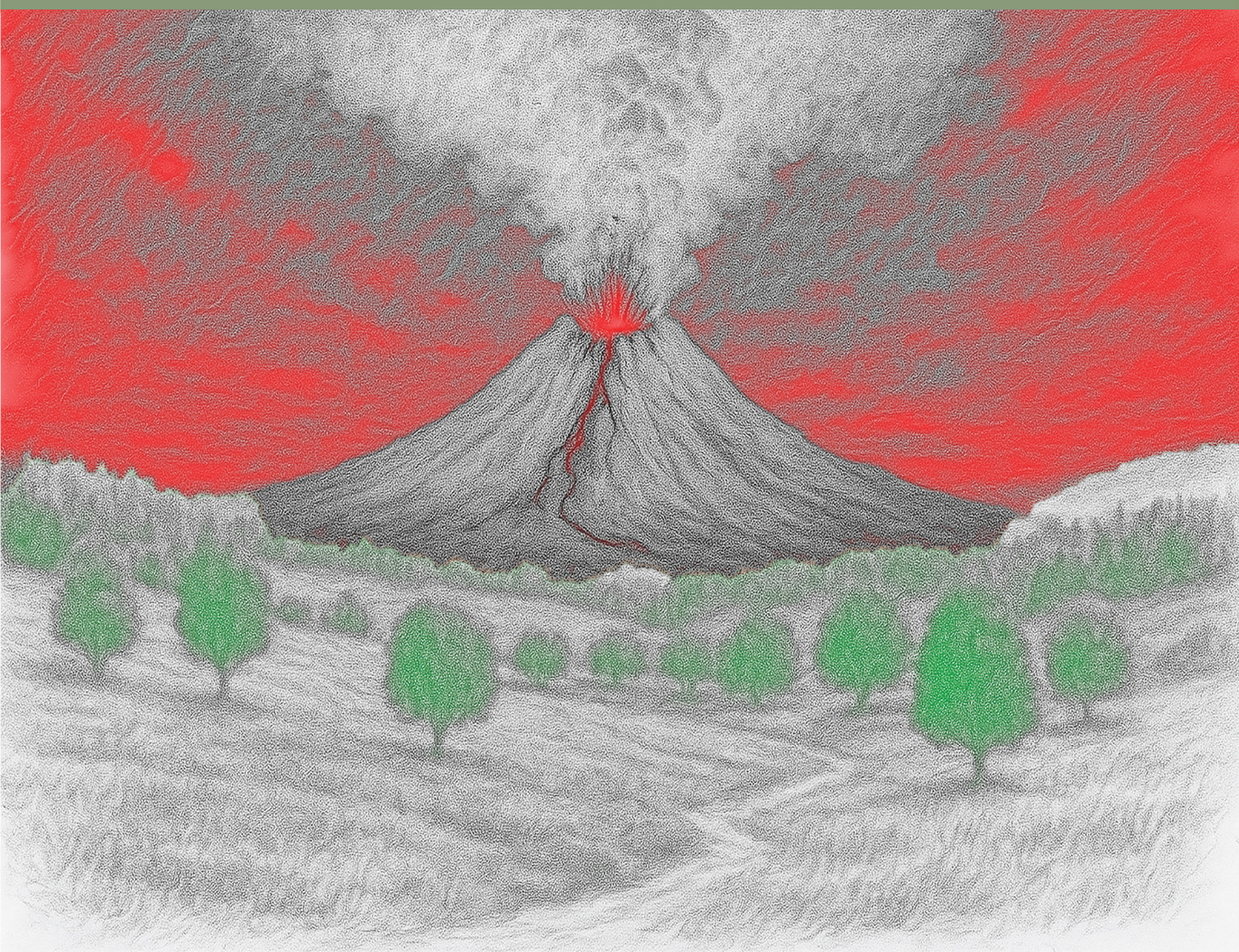


Facultad de Ciencias Naturales · Universidad Nacional de Salta



 REVISTA
CIENCIAS NATURALES

e-ISSN 2953-5441

Vol. 3(2)

Facultad de Ciencias Naturales • Universidad Nacional de Salta

Revista Ciencias Naturales

<https://revistas.natura.unsa.edu.ar/index.php/rfcn>

rev.cs.naturales@unsa.edu.ar

rev.cs.naturales@gmail.com

Facultad de Ciencias Naturales

Universidad Nacional de Salta

Av. Bolivia 5150 (A4408FVY), Salta - Argentina

<http://natura.unsa.edu.ar/web/index.php>

La Revista Ciencias Naturales es una publicación digital editada por la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Salta (Argentina). Su objetivo es difundir trabajos originales de investigación y contribuciones académicas en el campo de las Ciencias Naturales, bajo un modelo de publicación continua, sin cargos para los autores y en modalidad de Acceso Abierto para garantizar el libre acceso a todo su contenido.

Publicación continua: la revista publica de manera continua, lo que permite difundir cada artículo inmediatamente después de su aceptación final, sin necesidad de esperar la conformación completa del número. Cada trabajo se edita en su versión final y se asigna a un volumen, número y año específico, con su correspondiente identificador digital ARK-CAICYT.

Periodicidad: cada volumen comprende dos números semestrales (enero-junio y julio-diciembre). Cada número se publica al cierre de cada período.

Cargo por procesamiento de artículos (APC): la revista no cobra tasas por el procesamiento ni por la publicación digital.

Acceso abierto: la publicación se realiza bajo un modelo de Acceso Abierto (Open Access), garantizando que todo el contenido se encuentre disponible de forma libre y gratuita para su lectura y descarga, sin necesidad de suscripción.

Las contribuciones comprenden artículos científicos o académicos, notas y resúmenes de tesis.



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons
Atribución-NoComercial-CompartirIgual
4.0 Internacional

EQUIPO EDITORIAL

DIRECTORA

Olga G. Martínez 

Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Salta

EDITORES ASOCIADOS

Ricardo N. Alonso 

Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Salta

Estela Celia Lopretto 

Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata

Luis Jorge Oakley Skupin 

Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Rosario

María Victoria García 

Instituto de Biología Subtropical, Nodo Posadas, UNaM –CONICET, Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales, Universidad Nacional de Misiones

Esteban Ismael Meza Torres 

Fundación Miguel Lillo, CONICET. San Miguel de Tucumán, Tucumán

Juan Francisco Micheloud 

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Facultad de Ciencias Agrarias y Veterinarias, Universidad Católica de Salta

Cecilia Trillo 

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Catamarca. IRES Instituto Regional de Estudios Socioculturales-CONICET

Paula Liliana Narváez 

Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales, CCT-CONICET. Mendoza

Cristina Renee Salgado Laurenti 

Universidad Nacional de Nordeste, Corrientes

Guillermo Terán 

Fundación Miguel Lillo, CONICET. San Miguel de Tucumán, Tucumán

Juan Manuel Coronel 

Lab. Biología de los Invertebrados y Protistas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura, Universidad Nacional del Nordeste

Juan Urdampilleta 

Instituto Multidisciplinario de Biología Vegetal (IMBIV-CONICET), Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba

Alfonso Sola 

Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Salta

Ana Laura Sureda 

Administración de Parques Nacionales, Regional Noroeste

Adriana E. Álvarez 

Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Salta

Coordinadora Técnica

Ana Zelarayán

Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Salta

Producción editorial

Olga G. Martínez

Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Salta, Argentina

Traducción idioma inglés (Abstract)

Paula Liliana Narváez

Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales, CCT-CONICET. Mendoza

Gustavo Zaplana

Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Salta, Argentina

Revisoras de estilo

Claudia Borja

Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Salta

Zulma Avilés

Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Salta

Comunicación y Difusión

Evelyn Zerpa

Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Salta

Soporte técnico

Mario A. Díaz

Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Salta, Argentina

Fernando Javier Delgado

Biblioteca electrónica de la Universidad Nacional de Salta, Argentina

Susana Gonzáles Abalos

Biblioteca electrónica de la Universidad Nacional de Salta, Argentina

INSTRUCCIONES PARA AUTORES

El manuscrito debe ajustarse a formato word. Configuración: hoja A4, con márgenes de 2 cm. Texto con fuente Times New Roman, cuerpo 12, doble espacio, alineado a la izquierda (sin tabulaciones), con líneas numeradas en forma continua para facilitar el proceso de evaluación.

Estructura del Artículo

Título, Autor/es, Resumen, Palabras clave, Abstract, Keywords, Texto: Introducción, Materiales y Métodos, Resultados, Discusión, Conclusión, Agradecimientos, Referencias, Figuras y Tablas. Esta organización puede cambiar según el tema del artículo. La estructura para la Flora del Valle de Lerma continuará con su estilo tradicional hasta concluir dicha obra.

Título

El título del artículo en español e inglés, con mayúscula cada palabra (no más de 120 caracteres, incluyendo espacios). Los trabajos en inglés con el título en español. Si el título incluye nombre de especies y/o géneros, en *italica*.

Agregar título abreviado para el encabezado (no más de 40 caracteres).

Autores

Los nombres de los autores se escriben completos, nombres y apellido separados por “coma”, uno a continuación del otro. Indicar el lugar de trabajo con superíndice y el autor corresponsal con asterisco (*).

Indicar lugar de trabajo sin abreviaturas, con nombre completo de la institución (siglas entre paréntesis), dirección, código postal, ciudad, provincia y país, e-mail de todos los autores e identificador ORCID (<https://orcid.org>).

Ej.: Paula A. López ^{1*} & Adrián J. Gómez²

1.Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Salta, Av. Bolivia 5150 (A4408FVL) Salta, Argentina. lopez.paula@unsa.edu.ar <https://orcid.org/0000-0007-1632-9412>

2.Instituto de Bio y Geociencias del NOA (IBIGEO-CONICET), 9 de julio 14, (A4405) Rosario de Lerma, Salta, Argentina. adriangomez@gmail.com <https://orcid.org/0000-0009-8641-8410>

Resumen - Abstract

Resumen y Abstract en un único párrafo (hasta 230 palabras), con una breve presentación, relevancia del estudio, objetivo, materiales y métodos, principales resultados y conclusiones. Los trabajos en inglés con Resumen en español.

Palabras clave/keywords: de tres a cinco palabras (primera letra con mayúscula), separadas por “;” y ordenadas alfabéticamente (no incluir palabras del título).

Texto

Los nombres de géneros, especies y categorías infraespecíficas, en *italica*. El nombre de una especie debe ir completo cuando se mencione por primera vez, en el resto del texto sin siglas.

Nombres científicos y términos como *et al.*, *in vitro*, *sensu lato*, en *italica*.

Para los tratamientos taxonómicos, la nomenclatura se regirá por el Código Internacional de Nomenclatura correspondiente. Para lectotipificación, un nuevo sinónimo o una nueva combinación, usar respectivamente “lectotipo aquí designado”, “syn. nov.”, o “comb. nov.”.

Material estudiado: citar los datos en el siguiente orden: País (todo en mayúscula), provincia, localidad, altura, fecha, colector y número de colección, sigla de la institución donde se encuentra depositado el ejemplar. Ej.: ARGENTINA. Prov. Salta: Dpto. La Caldera, Vaqueros, río Vaqueros, 800 m al E del puente de ingreso al pueblo desde Salta, 1250 m s.m., 4-10-1997, Novara 10946 (MCNS, LIL, SI).

Figuras

Las Figuras se citan en el texto como: Fig. 1, Fig. 2B, Fig. 2B-E. Figs. 1C, 3D, etc.

Enviar las Figuras en archivos independientes del texto. Tamaño máximo: ancho de 15 cm, altura de 20 cm. Para una columna: 72 mm de ancho. Imágenes en formato JPG o TIFF con 300 dpi de resolución. No se aceptan archivos en Power Point o PNG.

Para figuras con varias imágenes rectangulares dejar un margen de espaciado vertical y horizontal de 2 mm entre ellas. Cada imagen debe tener una escala (Arial 7) y su identificación con una letra mayúscula (Arial 14, negrita).

Las leyendas de las figuras se ubican al final del texto. Ej.: **Figura 1.** Peces de Salta. **A.** *Astyanax asuncionensis*. **B.** *Bryconamericus thomasi*. **C.** *Hoplias malabaricus*. **D.** *Bujurquina vittata*. Fotos: A. Yañez

Tablas

Diseñar las Tablas en Word e insertar al final del manuscrito. Se numeran con números arábigos.

Las dimensiones deben respetar el tamaño de la caja de la revista, 15 × 20 cm, o el ancho de una columna (7,2 cm). Las leyendas deben ubicarse en el encabezado de la página de la tabla.

Referencias (formato APA 7ma edición)

Citas bibliográficas en el texto:

Un autor: (Smith, 2021), Smith (2021)

Dos autores: (Smith & Tryon, 2022), Smith & Tryon (2022) Tres o más autores: (Smith *et al.*, 2023), Smith *et al.* (2023)

Para citar varias obras, organizarlas cronológicamente: (Morales, 1998; Smith *et al.*, 2003; Lewis, 2022).

Artículo:

Kaur, S. P., & Gupta, V. (2020). COVID-19 Vaccine: A comprehensive status report. *Virus Research*, 288, 198114. <https://doi.org/10.1016/j.virusres.2020.198114>

Oakley, L. J., & V. Y. Mogni. (2025). Clasificación Infraespecífica y Distribución Geográfica de *Opuntia elata* (Opuntioideae-Cactaceae). *Revista Ciencias Naturales*, 3(1), 19-37. <https://id.caicyt.gov.ar/ark:/s29535441/nrmrluvyc>
Libro:

Lee, R. E. (2008). *Phycology* (5° Ed). Cambridge University Press. EEUU
Capítulo de libro

Faden, R. B. (1985). Commelinaceae. En R. M. Dahlgren, H. T. Clifford, & P. F. Yeo (Eds.), *The families of the Monocotyledons*, Vol. 4, pp.109-128. Springer. Berlin & Heidelberg.

Tesis:

Borja, C. N. (2011) *Fitoplancton de los principales cuerpos leníticos de la provincia de Salta*. (Tesis Magíster, Universidad Nacional de Salta).

Consultas on line:

GBIF (10 de febrero de 2024). GBIF Occurrence Download. <https://www.gbif.org/occurrence/search>

"Se recomienda citar los identificadores digitales (Ark-Archival Resource Key, DOI-Digital Object Identifier, Handle-Handle System, etc.) y enlaces web sin "punto final", para evitar interferencia en el enlace".

Uso de herramientas de inteligencia artificial (IA)

Los autores deben declarar sobre el uso de inteligencia artificial generativa (ChatGPT, Copilot, GenAI, Gemini, etc.) y tecnologías asistidas por IA en sus manuscritos, detallando su función específica (corrección gramatical, traducción, mejora del estilo del texto, etc.) en la sección de Agradecimientos o Métodos.

No se permite el uso de IA para generar imágenes, interpretar resultados científicos, ni para redactar secciones que impliquen análisis, discusión o conclusiones científicas originales. El incumplimiento de esta política podrá ser considerado como falta ética con sanciones editoriales, tales como, rechazo del manuscrito, eliminación de la publicación digital, entre otras.

CONTENIDO

Historia de la Volcanología en Argentina History of Volcanology in Argentina <i>José G. Viramonte, Ricardo N. Alonso, Víctor A. Ramos, Raúl Becchio, Marcelo Arnosio, Walter A. Báez, Emilce Bustos, Agostina Chiodi, Alfonso Sola, Rubén Filipovich, Néstor Suzaño, Mirta Quiroga, Florencia Reckziegel, Lorenzo Bardelli, Natalia Salado Paz, Agustina Villagrán, Esteban Berteá, Macarena Parra, Olivia Arenas, Marcos Morfulis, Isaac Burgos, Facundo Apaza, Mercedes Cirer & Santiago Retamoso</i>	Págs. 72-93
¿Quién Conserva el Bosque? Una Comparación del Uso del Suelo entre Diferentes Actores en el Chaco Salteño Who Conserves the Forest? Land use Comparison among Different Stakeholders in the Salta Chaco Region <i>Cristian D. Venencia</i>	Págs. 94-106
Catalogue of Type Specimens in the MCNS Herbario, Universidad Nacional de Salta (Argentina) Catálogo de los Ejemplares Tipo del Herbario MCNS, Universidad Nacional de Salta (Argentina) <i>Olga G. Martínez & Marcelo Gerónimo</i>	Págs. 107-118
Eficiencia de las Plantas Potabilizadoras del Norte de Salta (Argentina) Efficiency of the Water Treatment Plants in Northern Salta (Argentina) <i>Florencia S. Alvarez Dalinger, Lucia V. Laureano, Claudia N. Borja, Verónica L. Lozano & Liliana B. Moraña</i>	Págs. 119-130
Revisores	Pág. 131

Historia de la Volcanología en Argentina History of Volcanology in Argentina

José G. Viramonte^{1,2,3*}, Ricardo N. Alonso⁴, Víctor A. Ramos⁵, Raúl Becchio^{2,3}, Marcelo Arnosio^{1,2,3}, Walter Báez^{1,2,3}, Emilce Bustos^{1,2,3}, Agostina Chiodi^{1,2,3}, Alfonso Sola^{1,2,3}, Rubén Filipovich^{1,2,3}, Néstor Suzaño^{1,2}, Mirta Quiroga^{1,2,3}, Florencia Reckziegel^{1,2}, Lorenzo Bardelli^{1,2}, Natalia Salado Paz^{1,2,3}, Agustina Villagrán^{1,2,3}, Esteban Berteá^{1,2}, Macarena Parra^{1,2}, Olivia Arenas^{1,2,3}, Marcos Morfulis^{1,2}, Isaac Burgos^{1,2}, Facundo Apaza^{1,2}, Mercedes Cirer^{1,2} & Santiago Retamoso^{1,2}

1. Instituto de Geología del Noroeste Argentino (GEONORTE), Universidad Nacional de Salta, Av. Bolivia 5150, (A4408FVL) Salta, República Argentina. *joseviramonte@yahoo.com.ar;

2. Instituto de Bio y Geociencias del NOA, CONICET-Universidad Nacional de Salta, Av. 9 de julio 14, (4405) Rosario de Lerma, Salta, República Argentina.

3. Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Salta. Av. Bolivia 5150, (A4408FVL) Salta, República Argentina.

4. Centro de Investigaciones de la Geodinámica y Análisis del NOA (CEGA-CONICET) - Instituto Superior de Correlación Geológica (INSUGEO-CONICET), Universidad Nacional de Salta. Av. Bolivia 5150, (A4408FVL) Salta, República Argentina.

5. Instituto de Estudios Andinos "Don Pablo Groeber" (IDEAN), Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Buenos Aires, Intendente Guiraldes 2160, Ciudad de Universitaria, Pabellón II, (C1428EGA), Ciudad Autónoma de Buenos Aires. República Argentina.

RESUMEN

El trabajo presenta una breve historia sobre los orígenes de la volcanología a nivel mundial y latinoamericano, y de su desarrollo a lo largo del tiempo, para luego describir específicamente cómo ha sido ese proceso en la República Argentina. Se incluye una breve descripción del impacto de distintas erupciones volcánicas que afectaron en los últimos 100 años, así como la reacción de la población. Asimismo, se destaca el rol desempeñado tanto en instituciones nacionales e internacionales como de varios volcanólogos argentinos.

Palabras clave: Cadena Volcánica Andina; Erupciones Volcánicas; Riesgos volcánicos.

ABSTRACT

A brief chronicle on the origins of worldwide and Latin American volcanology is presented, its development through time, and a description of this process in Argentina. The impact of different volcanic eruptions that have affected the Argentine territory over the past 100 years and the response of the population to these phenomena are reported. The role of various Argentine volcanologists in national and international institutions is also highlighted.

Keywords: Andean Volcanic Chain; Volcanics Eruptions; Volcanic risks.

Arenas, O., Alonso, R. N., Apaza, F., Arnosio, M., Báez, W. A., Bardelli, L., Becchio, R., Berteá, E., Burgos, I., Bustos, E., Chiodi, A., Cirer, M., Filipovich, R., Morfulis, M., Parra, M., Quiroga, M., Ramos, V. A., Reckziegel, F., Retamoso, S., Salado Paz, N., Sola, A., Suzaño, N., Viramonte, J. G. & Villagrán, A. (2025). Historia de la Volcanología en Argentina. *Revista Ciencias Naturales* 3(2), 72-93. <https://id.caicyt.gov.ar/ark:/s29535441/jd249c1bs>

INTRODUCCIÓN

Desde los propios orígenes de la humanidad, los volcanes han producido una fuerte influencia tanto en la vida, mitos y costumbres de distintas civilizaciones del mundo. Ello es debido, no solo a que es uno de los fenómenos geológicos más impactantes y espectaculares que ocurren en nuestro planeta, sino por los diversos efectos que producen en las comunidades, especialmente las más cercanas, que han condicionado fuertemente sus vidas. A ello se suma el hecho que el volcanismo activo, está muy presente en áreas donde surgieron civilizaciones tan importantes como la azteca, maya, incaica, griega, romana, hitita, japonesa, malaya, entre otras. Solo basta recordar la gran influencia de los volcanes Popocatepetl, Nevado de Toluca y el Pico de Orizaba en la vida de los Aztecas en México; el Volcán de Fuego, Pacaya y Acatenango en la vida de los Mayas en Guatemala; la gran erupción de la caldera de Santorini (1530/1500 a. de C.) en el mar Egeo (Grecia) que hizo desaparecer la cultura Minoica y surgir la leyenda de la Atlántida; la gran erupción del Vesubio del 79 descrita por Plinio el Joven, que destruyó Herculano y Pompeya; el continuado efecto de los 111 volcanes de Japón que han esculpido la vida, las costumbres y el propio carácter de los japoneses y muchos otros ejemplos, largos de enumerar.

Las erupciones volcánicas no solo tienen un efecto directo e inmediato sobre vidas y bienes de las personas, sino que, al introducir grandes cantidades de ceniza en la atmósfera, producen cambios climáticos muy importantes a nivel planetario a largo plazo. En la antigüedad produjeron grandes sequías, seguidas de hambrunas y hasta la caída de importantes imperios. Téngase en cuenta que la erupción del volcán Toba en las Filipinas, 75.000 años atrás, casi produce la extinción del Homo Sapiens. Este supervolcán (Self & Blake, 2008; Kappelman, *et al.*, 2024), ubicado en la isla de Sumatra en Indonesia, explotó y desprendió una masa de aproximadamente 2.800 km³ que es al menos 12 veces mayor a la erupción volcánica más grande de la historia reciente.

La ciencia infiere que el evento desencadenó un invierno volcánico global que duró cerca de siete años y produjo una caída de las temperaturas de unos 3-3,5°C, que cambió el curso de la historia.

La Volcanología

La volcanología, como la mayor parte de las ciencias naturales, más allá del permanente deseo del conocimiento en sí mismo, está marcada por la ambición del hombre de conocer y controlar las fuerzas de la naturaleza, en este caso, los volcanes, para al menos, tratar de mitigar el efecto de sus erupciones. Más recientemente, se suma el interés por la energía geotérmica, en muchos casos, estrechamente ligada al volcanismo.

Debemos puntualizar aquí, que consideramos a la volcanología moderna, como la ciencia que estudia integralmente los volcanes: sus características, composición, estructuras, génesis, desarrollo, mecanismos eruptivos, efectos que producen sobre la población y sus bienes, el medio ambiente y el clima, la determinación de los peligros volcánicos y el riesgo geológico que involucran, así como también, el uso de la energía geotérmica. Es importante destacar que, en muchos casos, sobre todo hasta hace algunos años, se habían considerado como estudios volcanológicos, a trabajos sobre rocas volcánicas que en realidad eran estudios petrológicos, petrográficos, tectomagmáticos y otros.

a) Sus inicios

Al igual que la historia y desarrollo de otras ciencias, la volcanología tiene también tres etapas principales: 1) Etapa supersticiosa, en la que las creencias y los mitos religiosos dominan en gran medida el conocimiento; 2) Donde las primeras contribuciones científicas buscan reconciliar las observaciones y las creencias y 3) Conocimiento científico, que se inicia con William Hamilton en el siglo XVIII, se plasma con la teoría de la Deriva Continental de Alfred Wegener y se cristaliza con el desarrollo de la Tectónica de Placas, con la que comienzan a comprenderse y correlacionarse con mucha más claridad los

mecanismos, que no solo causan erupciones, sino también terremotos y otros fenómenos geológicos.

Vulcano en la mitología Greco-Romana es el Dios del Fuego y los volcanes, hijo de Júpiter y Juno, esposo de Venus e identificado con el Dios griego Hefesto. Según *De Natura Deorum* de Cicerón, existieron cuatro vulcanos: 1) hijo de Apolo y Minerva, 2) Opas nacido de Nilo, 3) descendiente de Júpiter y de Juno que tenía la fragua de Lemnos y 4) nacido de Memalio y que sometió las islas próximas a Sicilia (Vulcania). Etimológicamente lo más probable es que Vulcano derive de la lengua Latina y esté relacionado con el rayo (fulguere, fulgur, fulmen). También hay autores que lo derivan del cretense, irlandés y ruso. Dios del Fuego y de elaboración de los metales a Vulcano se le ofrendaban las armas tomadas a los enemigos en las batallas en la antigua Roma. Vulcano es el patrono de los oficios relacionados con los hornos, como los cocineros, panaderos y herreros. Virgilio y Plinio el Viejo narran y nombran a Vulcano como padre reconocido de Servio Tulio, uno de los reyes más admirados de Roma, mientras que Plinio el joven es considerado el primer “volcanólogo” debido a sus detalladas descripciones de la erupción del 79 del Vesubio que produjo la destrucción de la ciudad de Pompeya y Herculano y la muerte de su tío Plinio el Viejo. Uno de los templos más importante y antiguos en Roma, era el Volcanal, erigido en su honor y estaba localizado en la Colina Capitolina, una zona al aire libre en la comarca noroccidental del Foro Romano, donde había un altar en donde ardía permanentemente un fuego. Sin los productos del volcanismo, son inimaginables los monumentos, puentes y canales que caracterizan el imperio Romano, todos ellos realizados a base de la famosa “puzolana”, una toba vítrea que mezclada con cal reaccionaba y formaba el “Cemento Romano”, que posibilitó su construcción.

b) Volcanismo en las Américas

La conquista de Nicaragua comenzó solo 30 años después de que Cristóbal Colón llegara a América en 1492. En ese momento,

los volcanes Masaya y Momotombo en la actual Nicaragua, estaban en erupción simultáneamente. Masaya, fue el primer lago de lava permanente observado por los europeos (Fig. 1), lo que produjo una fuerte impresión e interés en él. La descripción más famosa fue llevada a cabo por Blas del Castillo en 1538. Su odisea fue descrita detalladamente por Fernández de Oviedo y Valdez (1851), quien dedica numerosos capítulos de su gran libro, a dar cuenta de los diferentes incidentes (Viramonte & Incer-Barquero, 2008). Durante más de un siglo hubo una gran controversia sobre la naturaleza de este fenómeno. Algunos creían que era la “Boca del Infierno”, mientras que otros veían con avidez en la lava, una fuente de oro o plata. Este hecho dio lugar a muchos intentos de demostrarlo. Viramonte & Incer Barquero (2008), describieron detalladamente los mitos aborígenes sobre

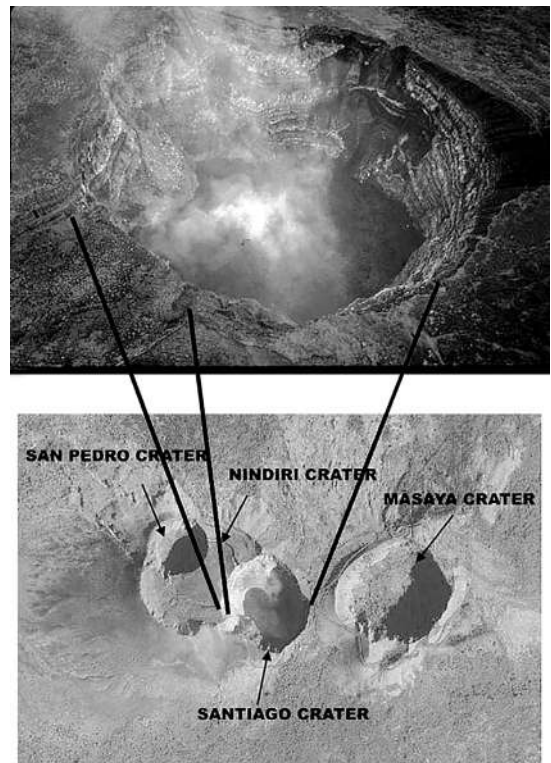


Figura 1. Complejo Volcánico Masaya, Nicaragua. Fotografía aérea de los cráteres Nindirí, Masaya, San Pedro y Santiago. (Foto inferior). Fotografía oblicua mostrando detalle de los cráteres Nindirí y Santiago. (Fotografía superior). Las líneas oblicuas marcan idénticos sitios en ambas fotos que evidencian que los cráteres Santiago y San Pedro no existían en el siglo XVI. Foto: J. Viramonte).

este volcán, así como las diferentes ideas y la evidencia aportada por los españoles para determinar si se trataba o no de la Boca del Infierno. Asimismo, en ese trabajo, se exponen las primeras descripciones geológicas, así como interesantes interpretaciones encontradas en las crónicas. También se narra el primer descenso a la boca del volcán para extraer muestras de ese “oro”, una verdadera proeza para la época. A partir de estas descripciones, se propone una interpretación volcanológica que contribuye a la comprensión de la historia eruptiva y la evolución del complejo volcánico de Masaya, uno de los sistemas de cámaras magmáticas someras más grandes de Centroamérica.

El 19 de febrero de 1600 el volcán Huaynaputina (Romero, 2019), ubicado a 65 km de la ciudad de Moquegua en Perú, presentó una gran erupción de tipo Pliniana, la cual es considerada una de las cinco mayores erupciones volcánicas que han ocurrido en el planeta en los últimos 500 años. Esta erupción lamentablemente, provocó la desaparición de numerosos pueblos localizados en sus inmediaciones, así como una significativa disminución de los

flujos de humedad provenientes del Atlántico Norte que afectan Sudamérica, lo que indujo un fuerte cambio en el clima, especialmente de Bolivia, Chile y norte de Argentina, produciendo bajas de temperaturas y sequías a nivel regional por un tiempo prolongado. Las consecuencias globales de dicha erupción llevaron a que el 1601, sea el año más frío de los últimos 600 años de acuerdo a estudios dendrocronológicos. Pinturas europeas de la época, muestran lagos helados que destacan esos periodos fríos. Las maderas de árboles que sufrieron el *stress* térmico de aquellos años, son las que sirvieron para la fabricación de los famosos violines Stradivarius. Se especula que esta erupción fue aún mayor que la del Krakatoa (de Silva & Zielinski, 1998) (Fig. 2). Periodos fríos a nivel global, se volvieron a repetir con la erupción del Tambora en 1815, que caracterizó a la década de 1810 como una de las más frías. La independencia argentina estuvo signada por esa época helada, como puede apreciarse en las vestimentas de las ilustraciones de la época. Todavía el planeta estaba viviendo la “*Little Ice Age*” (LIG), lo que alimentó el *feedback* negativo helado.



Figura 2. Una litografía de 1888 de la erupción del volcán Krakatoa ocurrida el 27 de agosto de 1883 (informe del Comité Krakatoa de la Royal Society, Londres, Trubner & Co., 1888).

Las erupciones volcánicas en los Andes de Sudamérica, fueron motivo de sacrificios de personas especialmente en la cultura Inca, denominadas como rituales Capaccocha. Se han detectado numerosos sacrificios de niños y niñas en distintos volcanes sudamericanos. Los más famosos son los del Misti, el volcán tutelar de la ciudad de Arequipa, que ha sido uno de los que más interés ha despertado. Hacia el año 1450 el volcán Misti entró en erupción y el emperador Inca Yupanki, realizó “rogativas para aplacar su ira”. En el mundo Andino se creía que los dioses influenciaban los fenómenos naturales, como terremotos, erupciones volcánicas, inundaciones y sequías. Por eso se ofrendaban niños como mensajeros a los dioses para que todo volviera a la “normalidad”. Estudios recientes han revelado que fueron ocho los niños sacrificados en el cráter del volcán Misti, en el mayor ritual inca de este tipo que se haya encontrado hasta la fecha. Otro gran hallazgo ha sido en el cráter del volcán Llullaillaco en la provincia de Salta, Argentina, donde se encontraron una doncella y dos niños extraordinariamente bien conservados (Ceruti, 2012).

La erupción del Llaima de 1640 fue única en la historia. En plena Guerra de Antuco, impactó tanto a mapuches como a españoles según Alonso de Ovalle (1646). La descripción realizada por este autor, es una de las primeras referencias a un volcán en erupción en la Cordillera de Chile (Fig. 3).

Gran influencia ha tenido los volcanes y otros fenómenos geológicos sobre los Mapuches. Particularmente ilustrativo es el mito referido al combate entre dos serpientes Trentén and Kaikai, que representan el Océano y la Tierra. El primero continuamente tratando de cubrir la tierra y Kaikai, tratando de aflorar sobre el mar para salvar sus habitantes (Bastías *et al.*, 2021).

Asimismo, Guaman Poma de Ayala (1615), (1980), realiza en su obra una de las primeras menciones de erupciones volcánicas en América, ilustrando la caída de cenizas en las ciudades de Arica y Arequipa afectadas por la gran erupción del volcán Huanaputina del año 1600 (Fig. 4 y 5).



Figura 3. Erupción del volcán Llaima Chile, de 1640 (Alonso de Ovalle, 1646).

Es necesario también mencionar, la expedición mineralógica de los hermanos Heuland. El director del Real Gabinete de Historia Natural de Madrid don José Clavijo, convenció en 1793 a las autoridades, para comisionar a dos expertos en producciones naturales, los hermanos Conrado y Cristiano Heuland, alemanes de gran competencia en cuestiones de Mineralogía, discípulos de la famosa Escuela de Minas de Freiberg, fueron comisionados por el Rey, para escribir la “Historia Físico Mineralógica de aquellos Reynos” (Barreiro, 1929). Parten de Buenos Aires hacia Mendoza en 1795 y llegados a las primeras serranías de las Sierras Pampeanas de San Luis se suben a los cerros inmediatos. Es así que ascienden al volcán el Morro y de allí se sorprenden al ver “una alta corrida de cerros que se dirige al Norte, y qual se acabe declinando siempre en un llano a poca distancia, por la parte de acá del referido Morro, presentando montañas y montañuelas cónicas, tan regularmente formadas, que

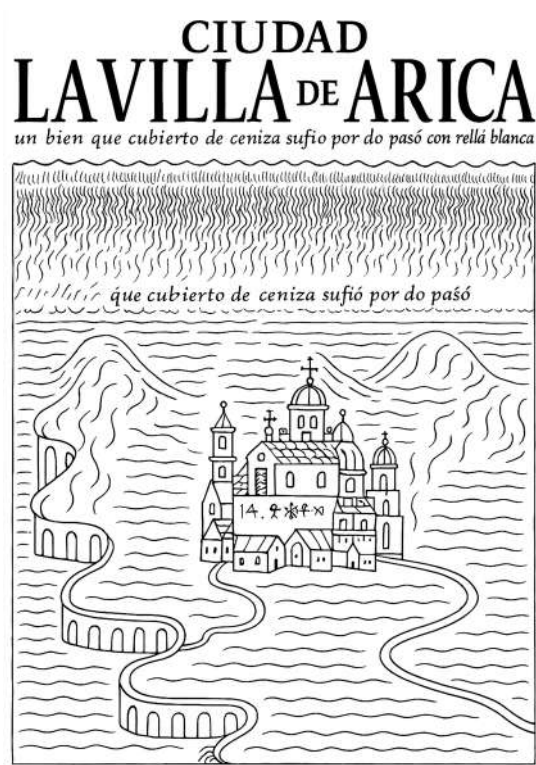


Figura 4. Caída de ceniza en Arica por la erupción del Huaynaputina 1600 (Guamán Poma de Ayala, 1615, 1980).

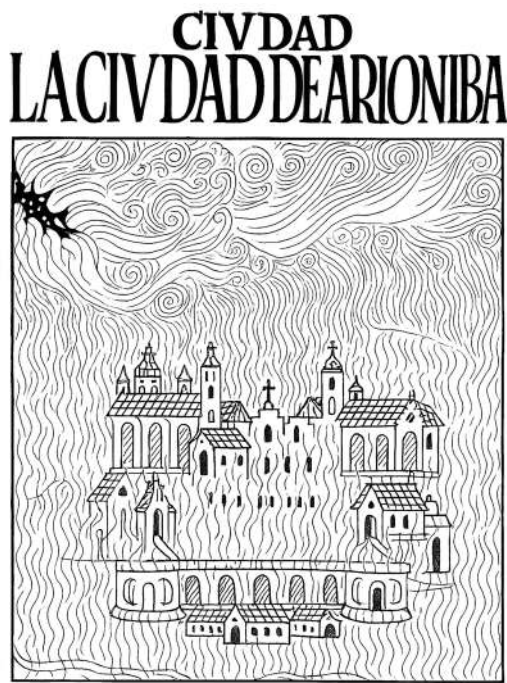


Figura 5. Caída de ceniza en Arequipa por la erupción del Huaynaputina 1600 (Guamán Poma de Ayala, 1615, 1980).

son bien apropiado para la curiosidad de un Naturalista”. Esta descripción parece coincidir con el alineamiento de volcanes neógenos que sobresalen en el paisaje de la Sierra de San Luis y son los primeros en reconocer esos volcanes y su lineación.

Por otro lado, es preciso tener en cuenta, las primeras observaciones sobre volcanes de los que en aquellos tiempos se denominaban “naturalistas”. Tadeo Haenke, científico checo, que llegó al Perú en 1790 con la expedición de Alejandro Malaspina, asciende al volcán Misti, constituyendo la primera ascensión de un profesional a un volcán en actividad en Sudamérica (El Misti Volcán Tutelar de Arequipa, EGASA; Ramos & Alonso, 2018).

Alejandro von Humboldt, el sabio prusiano que visitó el reino de la Nueva España entre 1799 y 1804, realizó diversas observaciones, con especial atención del fenómeno eruptivo acontecido en la noche del 29 de septiembre de 1759 en el volcán Jorullo, “remoto paraje de la Tierra Caliente de Michoacán” (Humboldt, 2003; Alonso Núñez & Marín Tello, 2009).

El volcán Antuco, de casi tres mil metros de altura, ubicado en la región del Bío Bío. Chile, hoy Parque Nacional Laguna de la Laja, es el protagonista de la escena. Cuatro visitantes huyen desesperados ante la imprevista erupción. Un plácido paseo se convirtió en un sálvese quien pueda (Fig. 6) (Gay, 1844-1871).



Figura 6. Volcán Antuco (Chile) en erupción (Gay, 1844-1871).

c) Nacimiento de la volcanología moderna

En 2024 se cumplieron 82 años del nacimiento del volcán Parícutín en México, que fue el primer volcán que la ciencia moderna vio nacer un 20 de febrero de 1943, crecer y poder estudiar durante nueve años, lo que constituyó un importante hito en la historia de la volcanología moderna (Fig. 7). Recordemos que el volcán surgió de repente en un campo arado, mientras su dueño, Dionisio Pulido, sembraba. Pintores como Gerardo Murillo (Dr. Atl, 1943), han immortalizado con libros y pinturas ese fenómeno. Cientos de geólogos mexicanos y de todo el mundo visitaron y estudiaron este volcán, pero la presencia que más sobresale es la de Ezequiel Ordóñez,

ingeniero y precursor de la volcanología en México. Lucero Morelos Rodríguez es la responsable del acervo del volcán Parícutín, protegido en el Archivo Histórico del Instituto de Geología (AHIG) y autora de la Reseña de "Infierno en el paraíso. Nacimiento y evolución del volcán El Jorullo" (Hurtado Torres, 2008; Morelos Rodríguez, 2009).

El geólogo Polaco-Francis Haroun Tazieff, fue uno de los primeros que a mediados del siglo XX comenzó a estudiar y documentar sistemáticamente los volcanes activos, realizando mediciones directas en los volcanes, con instrumentación muchas veces por él desarrolladas. Puede considerarse que es uno de los geólogos que mayor impulso



Figura 7. Erupción del volcán Parícutín (Estefanía Cervantes, documento del Archivo Histórico del Instituto de Geología de México - AHIG).

le dio a la Volcanología. Es sumamente conocido por su serie de películas sobre volcanes activos, entre las que se cuentan “Les Rendes-vous du diable”, “Le volcán Interdit”, “Entre terre et ciel” y muchas más. Intentó sin éxito descender al lago de lava del Volcán Niragongo a los fines de extraer trozos de lava. El poeta y artista Jean Cocteau le llamó “el poeta del fuego”.

Maurice y Katia Krafft fue un matrimonio que dedicaron su vida al estudio de los volcanes y que murieron por el efecto de un flujo piroclástico del volcán Unzen (Japón) en 1991, mientras estudiaban este volcán. Sus estudios, descripciones, libros y filmaciones de erupciones, entre las que se cuentan entre muchas otras, La Fournaise, volcan actif de l'île de la Réunion; Volcans, le réveil de la Terre; Dans l'ancre du Diable volcans d'Afrique, Canaries et Réunion; Volcans et tremblements de terre; Volcans et dérivés des continents, fueron pioneras y produjeron un importante avance en la volcanología mundial.

Como no podía ser de otra manera, especial mención debe realizarse a numerosos científicos italianos modernos, que desde el siglo XIX desarrollaron investigaciones y actividades volcánológicas principalmente orientadas a la disminución del riesgo volcánico de los cuantiosos volcanes allí existentes. Entre los más conocidos, se pueden citar entre numerosos otros, a Giuseppe Mercalli que fue un sismólogo, vulcanólogo y sacerdote italiano, creador de la escala sismológica que lleva su nombre. Mario Gemmellaro (1773-1839), vulcanólogo galardonado en 1829 con la medalla de oro de la Academia de Ciencias de Berlín, por haber demostrado que el Monte Etna es en realidad un conjunto de pequeños volcanes. Fue el que en 1804 hizo construir un refugio-observatorio denominado la Casa “degli Inglesi” o “Casa di Gemmellaro” que desde entonces permitió el control de dicho volcán. El profesor Gaetano Ponte aprovechando la erupción del 1923 obtiene fondos para construir el Primer Observatorio Volcanológico Universitario de Europa cuya sede se establece en Catania.

El Observatorio Vesubiano, fue fundado en 1841 y es el más antiguo del mundo en el campo de la vulcanología. Fue creado por orden del rey Fernando II de las Dos Sicilias. Su construcción empezó en 1841 y finalizó en 1845.

En 1926, el rico banquero Immanuel Friedländer fundó el Instituto de Vulcanología en Nápoles y Alfred Rittmann se convirtió en su primer director. Su trabajo se centró en el monte Vesubio y en la isla de Isquia. Esto dio lugar a su primera gran obra: “Evolución y diferenciación de los magmas del Soma y el Vesuvmagmas” (Rittmann, 1933).

Más recientemente numerosos vulcanólogos entre muchos otros, tales como F. Barberi, C. Bonadonna, R. Cioni, A. Colombi, S. Corrado, A. Costa, L. Civetta, P. Gasparini, G. Giordano, R. Mazzuoli, F. Innocenti, G. Orsi, M. Rosi, R. Santacroce, R. Sulpizio, desarrollan su actividad principalmente en distintas universidades como las de Pisa, Roma Tre, La Sapienza, Nápoles, Bari, Firenze, Federico II entre otras, así como en instituciones como el INGV que ha reunido últimamente todos los observatorios volcánológicos italianos (Vesubiano, Etna y otros), el Departamento de Protección Civil y en diversas dependencias del CNR.

Clive Oppenheimer (2011) profesor del Departamento de Geografía de la Universidad de Cambridge, es un vulcanólogo británico y profesor de vulcanología en el departamento de esa universidad, que se ha especializado en el estudio de los volcanes de la Antártida. Este investigador ha sido uno de los primeros en utilizar las imágenes satelitales y facilidades aeroespaciales para los estudios volcánológicos y ha realizado numerosas contribuciones al conocimiento de los volcanes de los Andes. Asimismo, se ha convertido en un best seller internacional con sus libros de divulgación sobre volcanes y vulcanismo (Oppenheimer, 2023).

En tiempos recientes vale la pena recordar algunas de las más importantes erupciones históricas tales como las del Laki, Islandia en

1783; Tambora, Indonesia en 1815; Krakatoa, Java-Sumatra, en 1883; Mont Pelé en el Caribe en 1902; Monte St. Helens, Estados Unidos en 1985; Nevado del Ruiz, Colombia, en 1985; Pinatubo, Filipinas en 1991, que en conjunto produjeron miles de muertos, grandes desastres muchas veces en lugares lejanos al propio volcán debido a la generación de tsunamis o flujos densos y cambios climáticos que modificaron radicalmente la vida de las comunidades afectadas.

La Volcanología en Argentina

Las características geológicas y geodinámicas de la Argentina hacen que los volcanes activos, estén localizados fundamentalmente en la Cordillera de los Andes. Mayoritariamente estos volcanes están situados en territorio chileno o en el límite internacional y muy pocos propiamente en territorio argentino. Como ya hemos referido en otras ocasiones, la situación de Argentina respecto a las erupciones volcánicas es curiosa, ya que en general los volcanes activos están en Chile, (o en Perú), pero por las características de los vientos dominantes en la región que soplan casi permanentemente del oeste hacia el este, los productos piroclásticos de sus erupciones mayoritariamente caen y afectan a la Argentina.

En Argentina, sin contar los volcanes de la Antártida, pueden contabilizarse 39 volcanes activos propiamente en territorio argentino y 120 entre Chile y Argentina, la mayoría de los cuales se distribuye en una cadena volcánica que arranca en Perú y que penetra por la Cordillera Occidental por Jujuy, Salta, Catamarca y La Rioja y tras una “zona de silencio volcánico” en la zona central de Argentina, reaparecen volcanes activos en el centro sur de Mendoza continuando por la Patagonia, hasta Tierra del Fuego.

En la Antártida, sin contar los Montes Erebus, Terror y las Islas Georgias y Sandwich del Sur, el volcanismo activo está localizado principalmente en las Islas Shetland del Sur. En la Isla Decepción se han desarrollado diversas erupciones en tiempos modernos, siendo las últimas en 1967, 1969 y 1970

(Viramonte *et al.*, 1974; Ortiz *et al.*, 1992; Aparicio *et al.*, 1997). Este volcanismo ha sido por largos años estudiado por el Instituto Antártico Argentino en cooperación con la Universidad Nacional de Salta y el CONICET (Programa Vulcantar), liderados por Néstor Fourcade (IAA) y José Viramonte (UNSa-CONICET), donde participaron numerosos geólogos entre los que se destacan Antonio Irazábal, Ricardo Omarini, Ricardo N. Alonso, Iván Petrinovic, Miguel Galliski, Corina Risso, Claudio Parica, Nilda Menegatti y otros. La relación entre José Viramonte y el grupo volcanológico español del Consejo Superior de Investigaciones Científicas de España (CSIC), dirigido originalmente por el Prof. Fuster Casas y continuado por Vicente Araña, fue motivo de una intensa colaboración con colegas de España (F. Anguita, R. Ortiz Ramis, A. Aparicio, J. Vila, R. Soto, etc.) que derivó finalmente en la construcción de la Base Antártica Española en Decepción. Asimismo, las relaciones previas con volcanólogos de la Universidad de Pisa, Italia, permitió una fuerte cooperación con investigadores italianos tales como R. Mazzuolli y F. Innocenti.

Luego de algunos años de inactividad estos estudios afortunadamente han sido retomados por un grupo de investigadores de la Universidad de Buenos Aires liderados por Mariano Augusto y Pablo Forte.

Cronológicamente es necesario relatar que Falkner (1774), realiza una de las primeras observaciones sobre la caída de cenizas en la zona pampeana de Argentina, describiendo que el cielo se oscureció y que una lluvia de cenizas se depositó hasta más allá del Río de la Plata. Aclara correctamente que las cenizas son de origen volcánico diciendo “This was caused by the eruption of a volcano near Mendoza: the winds carryng the light ashes to the incredible distance of 300 leagues or more”. En su valioso mapa que acompaña este trabajo, ilustra el mismo con un volcán en actividad (Fig. 8).

Bodenbender (1889), quien en 1887 realizó una expedición a Neuquén, por encargo del Instituto Geográfico Argentino,

publica un detallado mapa con importantes observaciones geológicas, entre las cuales se destaca: haber conocido el volcán Copagüe (Sruoga, 2016; 2021).

Pablo Groeber en los años 1920 y 1921 (Groeber y Corti, 1920; Groeber y Perazzo, 1941), realiza uno de los estudios pioneros del volcán Copahue y de su sistema hidrotermal, haciendo ya notar la importancia del uso potencial de su energía geotérmica.

El 10 de abril de 1932 cercano a la frontera de Argentina con Chile en la zona patagónica, se produjo una gran erupción en el volcán Quizapu (Fig. 9), que es parte del Complejo Volcánico Cerro Azul-Descabezado Grande, ubicado en la provincia de Talca, Chile. La erupción fue uno de los mayores eventos volcánicos del siglo XX en esta región y tuvo carácter pliniano, arrojando entre 5 y 30 km³ de cenizas, que por efecto de los vientos

dominantes del oeste cubrieron gran parte de la región central de Argentina, llegando a la costa atlántica y afectando también a Uruguay y sur de Brasil.

La erupción del volcán Quizapu, puede ser considerada como la piedra fundamental en el desarrollo de la volcanología moderna en Argentina. Las descripciones realizadas por Kittl (1933; 1944) de esta erupción, poseen el enorme valor de haber inaugurado la investigación volcanológica en la Argentina, sobre la base del estudio sistemático de los volcanes y sus productos, con el fin de establecer sus características y evaluar su peligrosidad y riesgo (Sruoga, 2016).

Los efectos climáticos y el impacto en las regiones proximales en el sur de Mendoza, particularmente en el Departamento de Malargüe, así como en provincia de La Pampa fueron muy significativos. En la zona pampeana de Argentina es posible hoy, en muchas localidades, reconocer el depósito tobaceo que generó. Crónicas de la época refieren que muchas personas creyeron era el “fin del mundo”. En ciudades tan distantes como Salta, el conocido Cerro San Bernardo que preside la ciudad, apareció cubierto de cenizas. (Fuenzalida, 1941; Perdiguero, 1984; Hildreth & Drake, 1992; Zanardi, 1992; González Ferrán, 1995; Maksimov, 2008; Tilling, 2009).

Casi simultáneamente Keidel (1934), realiza estudios sobre los volcanes gemelos de La Poma en el extremo norte del Valle Calchaquí en Salta, en donde realiza consideraciones de las relaciones entre volcanismo y tectonismo así como sobre la edad de dichos volcanes.

Groeber (1938), publica una corta pero apretada síntesis sobre La Payunia donde describe las distintas unidades volcánicas de la misma.

Más modernamente no hay que olvidar a C. R. Vilela y J. C. Turner, entre otros, quienes en la década del 1960 realizaron diversas hojas geológicas que abarcan el volcanismo de la Puna.

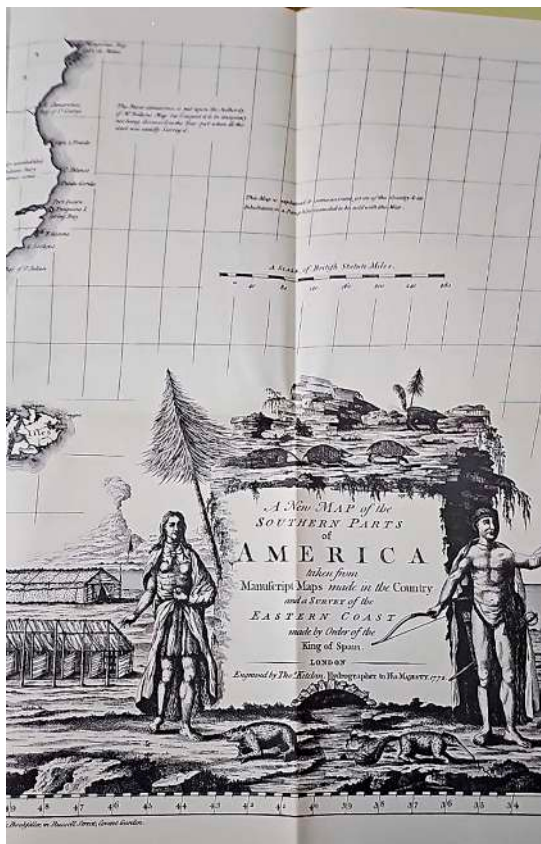


Figura 8. Caratula del Mapa de Falkner de 1774 mostrando un volcán en erupción.



Figura 9. General Pico, 1932. Ceniza Volcánica. Erupción del volcán Quitzapu. Colección Filippini.

Peter Francis (Francis *et al.*, 1983), es el primero en reconocer la Caldera del Cerro Galán como una de las fuentes de los enormes mantos de ignimbritas que cubren extensas zonas del Altiplano-Puna, originadas en numerosas calderas allí existentes. Posteriormente varios trabajos (de Silva, 1989; de Silva *et al.*, 2006; Allmendinger *et al.*, 1997; Coira *et al.*, 1993; Gardeweg & Ramirez, 1987, Guest, 1969 y trabajos allí citados) han permitido constatar este fenómeno, proponiéndose la existencia del denominado APVC (Altiplano Puna Volcanic Complex) (De Silva, 1989) que cubre más de 50.000 km² con espesos mantos de ignimbritas. Una de las más recientes ocurrida hace solo 4200 años (Viramonte *et al.*, 2005; Báez *et al.*, 2020) es la generada en la Caldera del Cerro Blanco que dispersó cenizas en gran parte del noroeste argentino las que llegaron hasta la provincia de Santiago del Estero con depósitos de tefras.

A lo largo de los últimos 100 años, han ocurrido múltiples erupciones volcánicas que han afectado al territorio argentino (Quizapu, 1932; Hudson, 1991; Láscar, 1993 (Fig. 10); Llaima, 2007; Chaitén, 2008; Planchón-Peteroa, 1991, 2011 y 2018-2019; Cordon Caulle, 2011, 2015; Copahue, 2012; Calbuco,

2015), algunas de las cuales se muestran en la Fig. 11 y que han sido objeto de numerosos estudios por distintos grupos de investigadores que se han ido conformando en distintas instituciones y universidades del país (Wes & Drake, 1992; Viramonte *et al.*, 1994; Déruelle *et al.*, 1995; 1996; Aguilera *et al.*, 2006 a y b; Folch *et al.*, 2008; Viramonte, 2013; Durant *et al.*, 2012; Collini *et al.*, 2013; Osorio *et al.*, 2013; Caselli *et al.*, 2013), entre muchos otros.

En este punto, es necesario referir la existencia de distintos grupos que realizan investigaciones volcanológicas que se han ido constituyendo a lo largo de los últimos años. En Puerto Madryn provincia de Chubut, el CENPAT (Centro Nacional Patagónico) liderados por M. Haller, recientemente fallecido, especialmente dedicados al estudio de estructuras, conductos, cráteres volcánicos, mares y evolución del paisaje volcánico, principalmente de la región patagónica. Han colaborado con George P.L. Walker, renombrado volcanólogo británico y con Abel H. Pesce, José E. Mendía, Héctor A. Osters, Andrés Folguera, Marco Gardini. Asimismo, en conjunto con José A. Naranjo han realizado estudios en el volcán Peteroa, de donde surgió un boletín binacional con el mapa de riesgo



Figura 10. Flujo piroclástico del volcán Láscar. Explosión del 19 de abril de 1993. Foto Jaques Guarinos.

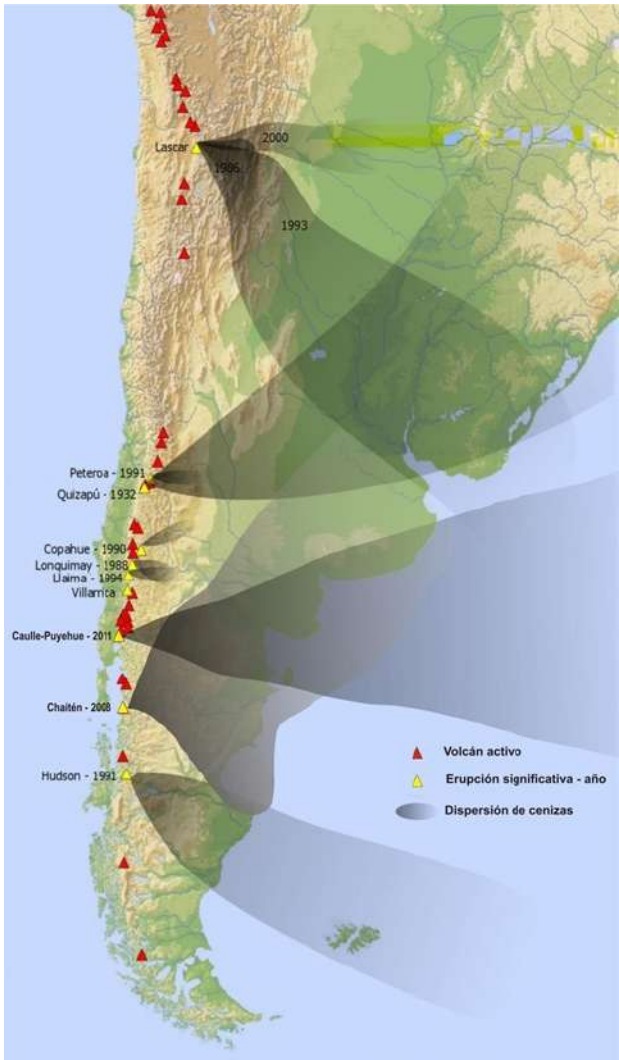


Figura 11. Áreas de dispersión de cenizas de algunas erupciones recientes que han afectado Argentina (Viramonte *et al.*, 2001).

volcánico de dicho volcán, lo que sería el primer mapa de riesgo volcánico de Argentina.

En la sede Bariloche de la Universidad Nacional del Comahue, el GEA (Grupo de Estudios Ambientales) del Instituto Andino Patagónico de Tecnologías Biológicas y Geoambientales (IPATEC) que dirigía el Dr. Arturo Amos, incorpora en 1999 a Gustavo Villarosa quien inicia en colaboración con la Lic. Valeria Outes los primeros estudios en Tefrocronología en la región del Lago Nahuel Huapi. El grupo ha crecido y se ha consolidado y en el actualmente desarrollan sus investigaciones numerosas científicos tales como I. Vergara, D. Beigt, E. López, J. Cottet así como becarios doctorales y posdoctorales como Pablo Salgado, Nahuel Losano entre otros. El GEA ha generado valiosos productos para la gestión de riesgos volcánicos en la Patagonia (modelado de lahares secundarios, análisis de impactos de la caída de tefra sobre infraestructuras y sectores productivos, impactos sobre los sistemas naturales, riesgos de avalanchas en contexto de caídas de tefra), que permiten mitigar los riesgos volcánicos de la región.

Luego de la creación de la Universidad Nacional de Río Negro en el año 2008 y posterior apertura de la carrera de Licenciatura en Geología en el año 2010, el Dr. A. Caselli se trasladó a esta casa de estudios dinamizando la creación del Laboratorio de Estudio y Seguimiento de Volcanes Activos (LESVA) en el año 2016. Actualmente en ese laboratorio trabajan I. Fernández Melchor y A. Báez becarios posdoctorales y cuatro becarios doctorales, S. Pereira Da Silva, E. Martínez, R. Sale y G. Guerendiain. El LESVA realiza investigaciones volcanológicas de diferente índole (volcanología física, geofísica, geoquímica, etc.) en numerosos centros volcánicos, sobresaliendo sus aportes relacionados a la actividad pasada y actual del volcán Copahue en la provincia de Neuquén.

Adriana Bermudez (CONICET) y Daniel del Pino (Universidad del Comahue) han desarrollado también diferentes trabajos volcanológicos especialmente referidos al volcán Puyehue.

En Malargüe el ICES (Centro Internacional de Ciencias de la Tierra, Comisión Nacional de Energía Atómica - Universidad Nacional de Cuyo. Argentina), diferentes geólogos han desarrollado distintas actividades volcanológicas, especialmente referidas al volcán Peteroa, la divulgación de diferentes estudios, así como la realización del Encuentro Internacional de Ciencias de la Tierra que lleva actualmente 19 ediciones realizadas. Asimismo, en el Centro Atómico Bariloche, también perteneciente a la Comisión Nacional de Energía Atómica, se avanza, desde hace más de dos décadas, en el estudio de tefras en testigos de lagos de Patagonia Norte, aprovechando facilidades geoquímicas como herramienta de correlación, en el Laboratorio de Análisis por Activación Neutrónica. Durante estos años se formaron múltiples tesis de grado y se han desarrollado tesis doctorales en diferentes universidades de Argentina aplicando tefrocronología y volcanología física en depósitos recientes y antiguos, como los trabajos de Romina Daga, Walter Alfonzo, Gastón Goldmann y Santiago Retamoso.

En 1980 fue creado El Centro de Investigaciones Geológicas (CIG) por la Universidad Nacional de La Plata mediante un convenio de cooperación entre la UNLP, el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) y la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CIC-PBA). En el CIG se desarrollan tareas de investigación volcanológica física y geoquímica principalmente en campos volcánicos de los Andes norpatagónicos así como en secuencias volcano-sedimentarias desde el Paleozoico hasta la actualidad.

Los investigadores fundadores del CIG fueron Carlos A. Cingolani, Luís H. Dalla Salda, Verónica Gómez de Posadas, Adrián M. Iñiguez, Mario M. Mazzoni, Julio C. Merodio, Carlos W. Rapela, Osvaldo C. Schauer, Luís A. Spalletti, Ricardo Varela, Norma Brogioni, César Cortelezzi, Alfredo Cuerda, Lihebe Herrera, Jorge O. Kilmurray, Amalia M. Leguizamón y Mario E. Teruggi.

Mario Teruggi si bien se dedicó especialmente a la Sedimentología y responsable de lo que es hoy la principal escuela sedimentológica argentina, fue asimismo el creador de los estudios petrológicos en la Facultad de Ciencias Naturales, tanto en rocas de basamento cristalino como en volcánicas. “Las rocas eruptivas al microscopio su sistemática y su nomenclatura” (1951) y el “Léxico Sedimentológico” (1963) que escribiera conjuntamente con Félix González Bonorino y que constituyen piezas fundamentales en los estudios de las rocas volcánicas en Argentina. Al momento de su jubilación fue reemplazado por otro gran investigador volcanológico, Eduardo Llambias, un notable volcanólogo que desarrolló su tesis doctoral sobre el Payún Matru, quien fue profesor en la Universidad de Buenos Aires, numerosos años en la Universidad Nacional del Sur de Bahía Blanca, profesor visitante en distintas universidades argentinas y finalmente profesor en la Universidad Nacional de La Plata donde se jubiló. A este investigador debemos la notable obra “Volcanes. Nacimiento, Estructura, Dinámica” (Llambias, 2009).

En este mismo centro desarrolló su actividad Mario Mazzoni (1986); Teruggi *et al.* (1978), quien se especializó en la temática del volcanismo y sus depósitos asociados, desarrollando el tema “Sedimentología de rocas piroclásticas cenozoicas”, en el Departamento de Ciencias Geológicas de la Universidad de California, Santa Bárbara (U.S.A.), junto al Dr. Richard V. Fisher. Sin duda él y su grupo de trabajo ha constituido un pilar muy importante en el desarrollo de la Volcanología en Argentina.

Asimismo, Gabriela Badi de la Facultad de Astronomía y Geofísica de la Universidad Nacional de La Plata, desarrolla una importante actividad fundamentalmente referida al tremor y sismos locales relacionados a la actividad volcánica.

En la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UBA aparte de los destacados profesores como F. Gonzalez Bonorino, que publica entre otros, “Principios de Óptica

Mineral” (1954)”, “Léxico Sedimentológico” (1956), “Instrucciones para el uso de la Platina Universal” (1957) e “Introducción a la Geoquímica” (1972) y numerosas hojas geológicas que, si bien no son obras de volcanología, han contribuido fuertemente al desarrollo de la misma. Una de las primeras geólogas de esta universidad que trabajó especialmente con rocas volcánicas, fue Magdalena Koukharsky, realizando estudios principalmente en el NOA, seguidas por Corina Risso que trabajó en el volcanismo Cretácico del NOA, luego en Antártida en la Isla Decepción y en Payunia. Fue creadora en 1993 del Observatorio Volcanológico Decepción, primer observatorio volcanológico argentino reconocido por la WOVO (Directory of Volcano Observatories 1993-1994).

Asimismo, hay que destacar la labor de Marcela Remesal, Flavia Salani y Alicia Faveto, por sus numerosos trabajos principalmente en el macizo de Somuncurá.

Más recientemente dentro del Departamento de Geología se crea el Grupo de Estudios y Seguimiento de Volcanes Activos (GESVA) donde trabajó originalmente A. Caselli y hoy desarrollan sus actividades Mariano Agosto, Laura Velez, Clara Lamberti, Pablo Forte, entre otros estudiando principalmente los volcanes Copahue y Peteroa.

En estrecha asociación con esta Facultad y en asociación con el CONICET hay que mencionar al Instituto de Geocronología y Geología Isotópica (INGEIS), fundado por el Dr. E. Linares el 23 de mayo de 1969, el que, al permitir autónomamente la datación geocronológica de las rocas, ha sido un hito fundamental para el desarrollo de la volcanología en Argentina. Los objetivos principales son la realización y promoción de investigaciones en las áreas de Geocronología, Geología Isotópica, Hidrología Isotópica, Petrología y Sedimentología, Geoquímica, Geoelectrica y Magnetotelúrica, Medioambiente, Agroambiente, Biogeoquímica y Arqueología Isotópica, ctualmente desarrollan sus actividades H.O. Panarello, M. Do Campo y muchos otros.

En la Universidad de Córdoba, aparte de los primeros trabajos de J. Olsacher incluida su visita a la Isla Decepción (Antártida) y E.M. Beltrán Casas, hay que tener en cuenta los estudios realizados por Carlos Gordillo y Andrés Lencinas especialmente sobre el volcanismo Cretácico de la serranía de Los Cóndores. Actualmente se destacan los trabajos de I. Petrinovic quien originalmente trabajaba en Salta y actualmente desarrolla su actividad sobre los Andes del Sur (Neuquén y Mendoza), intentando contribuir desde la ciencia básica con la exploración minera y geotérmica.

En la Universidad Nacional de Tucumán se destacan los trabajos de P. Grosse y F. Escalante, entre otros.

Un centro muy activo y uno de los primeros en Argentina en el desarrollo de estudios volcanológicos, es la Universidad Nacional de Salta, Instituto GEONORTE e IBIGEO (UNSa-CONICET). Muy conocido desde hace tiempo por la impartición del “Curso Internacional de Volcanología de Campo en los Andes Centrales” que lleva más de 26 ediciones y donde han participado cientos de jóvenes volcanólogos de todas partes del mundo, especialmente de Argentina y Latinoamérica. Asimismo, ha tenido activa participación en los estudios volcanológicos en la Isla Decepción, Antártida llevando a cabo el programa Vulcantar del Instituto Antártico Argentino por más de 10 años, cooperando con investigadores españoles e italianos como ya se ha referido anteriormente. El grupo mantiene estrechas relaciones de cooperación con diversos centros volcanológicos de Argentina, América y Europa. Colaboraciones frecuentes con Centroamérica, mediante programas de la OEA, se han llevado a cabo con Nicaragua, Costa Rica y Guatemala especialmente realizando trabajos conjuntos con Martha Navarro (INETER-Nicaragua), Guillermo Alvarado (Universidad de Costa Rica) y Gustavo Chigna (INSIVUMEH-Guatemala). Una colaboración especial con Italia se lleva a cabo desde hace varios años, sobre distintos aspectos del volcanismo de los Andes Centrales especialmente con

investigadores de la Universidad Roma Tre tales como Guido Giordano y S. Corrado, con La Universidad de Bari con Roberto Sulpizio, con Universidad de Camerino C. Invernizzi, con Antonio Costa, (INGV) y con Antonio Colombi (Protección Civil) entre muchos otros.

Asimismo, este grupo participa activamente conjuntamente con la CONAE y el SMN, especialmente con la VAAC Buenos Aires dependiente de este último, en la detección temprana y seguimiento de erupciones volcánicas que pueden afectar Argentina como se describirá más adelante.

En ellos se han realizado numerosas tesis doctorales especialmente referidas al volcanismo de los Andes Centrales. Participan actualmente investigadores como José G. Viramonte, Raúl Becchio, M. Arnosio, Walter Báez, Agustina Chiodi, Emilce Bustos, Rubén Filipovich, A. Sola, A. Ortiz, Carolina Montero López, Natalia Salado-Paz, Mirta Quiroga, Néstor Suzaño, Florencia Reckziegel y numerosos becarios como Lorenzo Bardelli, Agustina Villagrán, Facundo Apaza, Esteban Berteá, Isaac Burgos, Olivia Arenas, Marcos Morfulis, Macarena Parra, Mercedes Cirer y Santiago Retamoso, entre otros.

En la Universidad Nacional de Jujuy la Dra. Beatriz Coira y su grupo de investigación han sido referentes del estudio del volcanismo Cenozoico y Paleozoico de los Andes Centrales por más de 5 décadas. Sus estudios de los sistemas volcánicos van desde los mecanismos eruptivos, geoquímica de sus magmas, hasta la interpretación de las condiciones geodinámicas al momento de su formación. Al mismo tiempo las investigaciones se han extendido al análisis del rol del volcanismo en la formación de sistemas hidrotermales actuales y fósiles y su relación con depósitos minerales y sistemas geotermiales.

Dentro de sus colaboradores caben señalar en el área del volcanismo Cenozoico a P. J. Caffè; G. Rodríguez; M. Soler; D. Fracchia; A. Ramírez; G. Maro y A. Díaz. Asimismo, colaboraron con el grupo de investigación

en sus distintas especialidades S. Mahlburg Kay, (Cornell University); H.A. Ostera; H. O Panarello; C. Pomposiello (UBA); M. Koukharsky (UBA); R. Mon (UNT); G. Stangalino (Geotermia Andina); R. A. Seggiaro (SEGEMAR), J. Viramonte (UNSa), entre otros.

En el año 2009 en una importante reunión con representantes del CONICET, SEGEMAR, SMN, VAAC Buenos Aires, Cascos Blancos, CONAE y varias universidades nacionales, se presentó a las autoridades del sistema científico argentino que, ante la ausencia de un observatorio volcanológico en Argentina, se creara un sistema que pudiera dar respuesta a algunos aspectos del trabajo científico que hacía falta realizar y a diseñar canales y estrategias de gestión de los peligros volcánicos a escala nacional. Allí se discutió una iniciativa para constituir grupos de trabajo regionales, que aportarían al estudio y asesoramiento respecto al volcanismo activo en cada una de las zonas volcánicas del país, incluyendo la Antártida.

La erupción del Cordón Caulle en 2011 (Fig. 12) impactó severamente a muchas localidades importantes de la Patagonia norte, poniendo nuevamente de manifiesto la importancia de esta cuestión, que aún seguía desatendida. Surge entonces por parte del MINCYT y del Ministerio del Interior una iniciativa para canalizar las capacidades del sistema científico tecnológico nacional hacia la gestión de riesgos naturales, creando la denominada “Comisión de Riesgos”. Esta iniciativa derivara finalmente que en octubre del año 2016 se sancione la Ley 27.287 que crea el Sistema Nacional de Gestión Integral del Riesgo y la Protección Civil (SINAGIR), bajo la órbita de la Jefatura de Gabinete de Ministros, cuyo objetivo es la gestión integral del riesgo de desastres.

Se establece a su vez la creación de una Red de Organismos Científico Técnicos para la Gestión del Riesgo de Desastres (Red GIRCyT), cuya función es atender los requerimientos de información del SINAGIR dando lugar finalmente a la

creación del Observatorio Argentino de Vigilancia Volcánica (OAVV), un área especializada del SEGEMAR, cuyo objetivo es el estudio y monitoreo de los volcanes, cuya actividad pueda afectar nuestro territorio y que es dirigido actualmente por Sebastián García. En esa dependencia desarrollan sus actividades numerosas profesionales tales como Gabriela Badi, Augusto Casas, Julián Olivar (Sismología); Fabricio Carbajal, (Geoquímica); Pablo Forte, Nicolás Vigide, Gabriela Jara y Yazmin Yiries (Volcanología física); Víctor Preatoni; Víctor Ramos y Jerónimo Castellote (Instrumentación e Informática).

A la fecha, el OAVV es el observatorio volcánico más reciente de América Latina (Forte *et al.* 2021; García & Badi, 2021). Desde su creación, ha logrado establecer redes de monitoreo permanentes en seis de los 38 volcanes activos identificados en Argentina: los volcanes Copahue, Lanín y Domuyo en la provincia de Neuquén; el Complejo Volcánico Laguna del Maule, ubicado en la frontera entre Neuquén y Mendoza; el Complejo Volcánico Planchón-Peteroa en Mendoza y en la Isla Decepción en la Antártida. A su vez, se encuentra planificado para los próximos años continuar con la instalación de las redes de monitoreo de los volcanes San Jose, Tupungatito y Maipo en la provincia de Mendoza.

El SEGEMAR en el marco del SINAGIR, ha coordinado la mesa de Amenazas Volcánicas del Plan Nacional para la Reducción del Riesgo de Desastres (PNRRD 2018-2023) y es el coordinador de las actividades de la Red GIRCyT relacionadas a la actividad volcánica en Argentina, como máximo organismo referente del estado nacional en materia de evaluación y estudio de las amenazas volcánicas.

Dentro del SEGEMAR hay otras unidades dedicadas al estudio de volcanes: la Dirección de Geología Regional, dedicada al estudio estratigráfico y petrológico de los volcanes activos de la ZVS (Copahue, Planchón Peteroa, C V Laguna del Maule, Maipo) donde participa activamente P. Sruoga,

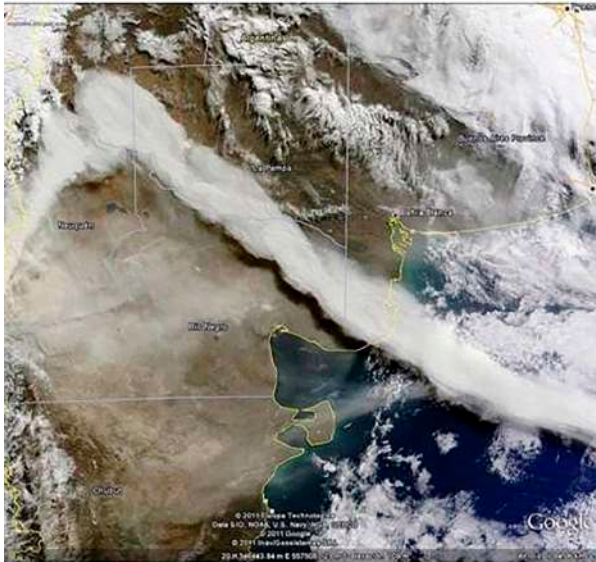


Figura 12. Complejo volcánico Puyehue Cordón Caulle, del 13 de junio de 2011 A) Dispersión de la pluma hacia territorio argentino y Océano Atlántico. B) Desarrollo de una gran pluma pliniana de gran altitud. Foto Fuerza Aérea de Chile.

brindando información para los mapas de peligrosidad que confecciona la Dirección de Geología Ambiental y Aplicada (DGAA) para la recreación de posibles escenarios eruptivos que realiza el OAVV. En la DGAA, donde trabajan M. Elissondo, J. Kaufman, E. Rovere, entre otros y cuya tarea principal es el análisis de la peligrosidad volcánica, desde el año 2007, en el marco del proyecto MAC:GAC y con la asistencia de Cathie Hickson, se trabaja en el Programa de Estudio de Amenazas Volcánicas. Este proyecto tomó impulso con las erupciones del Chaitén y principalmente con el Cordón Caulle. En Geomática, en el sector Sensores Remotos, donde desarrollan sus actividades S. Castro Godoy, F. D. Carballo, E. M. Wright M. Laura Pardo Duró, se realiza el seguimiento de los volcanes considerados activos de la República Argentina. A través del uso de diferentes técnicas utilizando tanto sensores activos como pasivos realizando el procesamiento de imágenes de radar de

tipo SAR (Radar de Apertura Sintética), y analizando cada volcán con la técnica DInSAR (Interferometría Diferencial SAR) con diferentes intervalos temporales para identificar deformación. También se realiza series de tiempo SAR con la técnica SBAS para la detección de deformación, así como el cálculo de la velocidad y dirección de desplazamiento, como el seguimiento de anomalías térmicas de volcanes activos a través del cálculo de temperatura utilizando datos ASTER nocturnos, Landsat y Sentinel (sensores ópticos o pasivos).

Profesionales de la DGAA y DGR trabajaron conjuntamente durante la crisis del Cordón Caulle. A partir de este evento se realizaron estudios de peligrosidad e impacto llevándose adelante una serie de convenios con la Universidad de Ginebra, USGS y SERNAGEOMIN. Con este último se realizaron mapas de peligrosidad volcánica binacionales Chile-Argentina. Se presta especial atención al mapeo

geológico y geomorfológico focalizándose en la estratigrafía postglacial, con el objetivo de reconstruir la historia eruptiva durante dicho periodo, necesaria para evaluar la peligrosidad volcánica. Ambas direcciones (DGAA y DGR) definen los escenarios tanto para los mapas de peligrosidad a largo plazo como para los periodos de crisis. En la DGAA también se realiza la evaluación de riesgo volcánico a escala nacional, en colaboración con SMN, que sirve como base para la planificación de los diferentes proyectos dentro del SEGEMAR, tanto geológicos como de peligrosidad, monitoreo y seguimiento de volcanes activos. Es de destacar la confección del Ranking de Peligrosidad y Riesgo Relativo para Argentina y la instalación de estaciones multiparamétricas en cuatro volcanes activos.

Por último, hay que puntualizar la importante y esencial actividad que llevan adelante dos instituciones pioneras en la prevención y mitigación de riesgos naturales en Argentina, como lo son la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) y su Instituto GULICH, en colaboración con la Universidad Nacional de Córdoba y el Servicio Meteorológico Nacional (SMN). La primera, es la que genera imágenes satelitales de distinto tipo (tanto propias como adquiridas por convenio con otras agencias similares del mundo), que son imprescindibles, primero para la detección casi inmediata de una erupción y luego esenciales para el seguimiento y control del desarrollo de las mismas. La Dra. Graciela Salmuni fue una de las primeras en utilizar distinto tipo de imágenes, así como aplicar y desarrollar diversas técnicas para ello. Guillermo Toyos y Alvaro Soldano asimismo han participado activamente en distintas actividades de diversos proyectos para la detección y seguimientos de erupciones volcánicas.

Desde el año 1998 la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) ha reconocido la necesidad de mantener informados a los pilotos de aeronaves de los peligros volcánicos. Para ello, se han creado a escala global nueve centros de avisos de ceniza volcánica (VAAC). 1. Anchorage

(Estados Unidos) 2. Buenos Aires (Argentina) 3. Darwin (Australia) 4. Londres (Reino Unido) 5. Montreal (Canadá) 6. Tokyo (Japón) 7. Toulouse (Francia) 8. Washington (Estados Unidos) 9. Wellington (Nueva Zelanda).

Cada centro tiene la responsabilidad de supervisar la presencia de cenizas volcánicas en su espacio aéreo asignado y de proporcionar avisos (VAA) ante la ocurrencia de un evento volcánico.

El Servicio Meteorológico Nacional de la Argentina es responsable de la VAAC Buenos Aires, cuya área de cobertura es 90W-10W; 10S-90S e incluye parte de Perú, parte de Bolivia, Chile, parte de Brasil, Argentina, Antártica e Islas del Atlántico Sur, Farias & Collini (2016). En el Servicio Meteorológico Nacional han sido esenciales en estos temas la actividad de Estela Collini, María Soledad Osoreo, Juan Augusto Diaz, entre varios otros.

Por último, no podemos olvidar a los vulcanólogos argentinos que han desempeñado o desempeñan funciones en organizaciones relacionadas con la vulcanología o en la creación de las mismas. Corina Risso, Gustavo Villarosa e Iván Petrinovic han sido presidentes del Comité Nacional Argentino de la International Association on Volcanology and Chemistry of Earth Interior (IAVCEI). José Viramonte ha sido uno de los creadores de la Asociación Latinoamericana de Vulcanología, ALVO, así como su presidente y vicepresidente. También ha sido miembro del Comité Ejecutivo de la IAVCEI.

CONCLUSIONES

En Argentina la Volcanología ha tenido sus inicios en trabajos llevados a cabo por geólogos pioneros en este campo tales como E. Kittl y P. Groeber, más recientemente M. Teruggi, F. Gonzalez Bonorino y J. Olsacher que, aunque actualmente no podrían ser catalogados estrictamente como vulcanológicos, sin duda fueron los primeros pasos y sin ninguna duda marcaron el camino a seguir.

Posiblemente debido al impacto de distintas erupciones recientes que han

afectado fuertemente a la Argentina tales como las Hudson, 1991; Láscar, 1993; Llaima 2007, Chaitén, 2008; Planchón-Peteroa, 1991, 2011 y 2018-2019; Cordón Caulle, 2011, 2015; Copahue, 2012 y Calbuco, 2015, afortunadamente se ha despertado un gran interés sobre el tema, fundamentalmente para mitigar sus efectos, preparar adecuadamente a la población, ajustar los procedimientos para mitigar el riesgo volcánico y mejorar la seguridad del tráfico aéreo, así como visualizar el potencial del volcanismo para la generación de energía geotérmica

Por otro lado, en el año 2016 se sancionó la Ley 27.287 que crea el Sistema Nacional de Gestión Integral del Riesgo y la Protección Civil (SINAGIR), estableciéndose a su vez la creación de una Red de Organismos Científico Técnicos para la Gestión del Riesgo de Desastres (Red GIRCyT), cuya función es atender los requerimientos de información del SINAGIR dando lugar finalmente a la creación del Observatorio Argentino de Vigilancia Volcánica (OAVV), un área especializada del SEGEMAR como ya se ha referido anteriormente y que constituye un gran paso adelante en la prevención y mitigación del riesgo volcánico en Argentina.

De esta manera numerosos grupos de investigación dispersos a lo ancho y a lo largo del país, como distintas Instituciones como CONAE, SMN, SEGEMAR, desarrollan permanentemente, tanto estudios volcanológicos específicos sobre diversos volcanes, así como tareas de monitoreo y seguimiento tanto de la actividad sísmica relacionada al volcanismo, como a la geoquímica de gases, dispersión de nubes de cenizas, estudios del potencial geotérmico, etc. realizando cuantiosas colaboraciones entre ellos, así como con distintos grupos del exterior.

Ello permite que actualmente la Argentina este mucho mejor preparada, no solo para visualizar anticipadamente una posible erupción, sino fundamentalmente para mitigar eficazmente los efectos de la misma una vez producida, tanto sobre la población, como

en los bienes y servicios afectados y en la aeronavegación.

REFERENCIAS

- Allmendinger, R. W., Jordan, T. E., Kay, S. M., & Isacks, B. L. (1997). The evolution of the Altiplano Puna Plateau of the Central Andes. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 25(1), 139-174. <https://doi.org/10.1146/annurev.earth.25.1.139>
- Alonso Núñez, M. C., & Marín Tello, M. I. (2009). Impacto social y económico de la erupción del volcán Jorullo, Michoacán, 1759. *Tzintzun. Revista de Estudios Históricos*, 49, 53-78.
- Alonso de Ovalle (1646). *Histórica relación del Reyno de Chile y de las misiones y ministerios que exercita en la Compañía de Jesus*, Roma.
- Aguilera, F., Medina, E., Viramonte, J. G., Guzmán, K., Becchio, R., Delgado, H., & Arnosio, M. (2006a). Recent eruptive activity from Lascar Volcano (2006). *X Congreso Geológico Chileno, Actas II*, 393-396, Antofagasta, Chile.
- Aguilera, F., Medina, E., Viramonte, J. G., Guzmán, K., Becchio, R., Delgado, H., & Arnosio, M. (2006b). Eruptive activity from Lascar Volcano (2003-2005). *X Congreso Geológico Chileno, Actas II*, 397-400, Antofagasta, Chile.
- Aparicio, A., Risso, C., Viramonte, J. G., Menegatti, N., & Petrinovic, I. (1997). El volcanismo de Isla Decepción (Península Antártica). *Boletín Geológico y Minero*, 108(3), 235-258. <http://hdl.handle.net/10261/4936>
- Báez, W., Bustos, E., Chiodi, A. L., Reckziegel, F., Arnosio, M., de Silva, S., Giordano, G., Viramonte, J. G., Sampietro Vattuone, M. M., & Peña Monné, J. L. (2020). Style and flow dynamics of the pyroclastic density currents related to the Holocene Cerro Blanco eruption (Southern Puna Plateau, Argentina). *Journal of South American Earth Sciences*, 98, 102482. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2019.102482>
- Barreiro, A. (1929). *El viaje científico de Conrado y Cristián Heuland a Chile y Perú organizado por el Gobierno español en 1795*. Publicaciones de la Real Sociedad Geográfica, 134 p. Madrid, España.
- Bastías, C. A., Charrier, R., Millacura, C. V., Aguirre, L., Hervé, F., & Farías, M. A. (2021). Influence of geological processes in the cosmovision of the Mapuche native people in south central Chile. *Earth Sciences History*, 40(2), 581-606. <https://doi.org/10.17704/1944-6187-40.2.581>
- Bodenbender, G. (1889). Expedición al Neuquén. *Boletín del Instituto Geográfico Argentino*, 10, 311-329. Buenos Aires, Argentina.

- Bustos, E., Báez, W., Arnosio, M., & Viramonte, J. G. (2016). El volcanismo cenozoico de la Puna. Relatorio XI Congreso Argentino de Geología Económica, 44-91. Salta, Argentina.
- Caselli, A. T., Vélez, M. L., Forte, P. B., Albite, J. M., & Daga, R. B. (2013). Erupción del volcán Copahue (Argentina): Evolución, productos e impacto social y ambiental. Foro Internacional de Peligros Volcánicos, 104-109. Arequipa, Perú.
- Ceruti, M. C. (2012). Los Niños del Llullaillaco y otras momias andinas: Salud, folclore, identidad. Scripta Ethnologica, 34, 89-104. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Buenos Aires, Argentina.
- Coira, B., Mahlburg Kay, S., & Viramonte, J. G. (1993). Upper Cenozoic magmatic evolution of the Argentine Puna: A model for changing subduction geometry. International Geology Review, 35(8), 677-720. <https://doi.org/10.1080/00206819309465552>
- Collini, E., Osores, M. S., Folch, A., Viramonte, J. G., Villarosa, G., & Salmuni, G. (2013). Volcanic ash forecast during the June (2011). Cordón Caulle eruption. Natural Hazards, 66(2), 389-412. <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0492-y>
- Déruelle, B., Medina, E. T., Figueroa, O. A., Maragaño, M. C., & Viramonte, J. G. (1995). The recent eruption of Lascar volcano (Atacama-Chile, April 1993): Petrological and volcanological relationships. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Series IIa, 321, 377-384.
- Déruelle, B., Figueroa, O. A., Medina, E. T., Viramonte, J. G., & Maragaño, M. C. (1996). Petrology of pumices of April (1993) eruption of Lascar (Atacama, Chile). Terra Nova, 8(3), 191-199. Wiley Blackwell. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3121.1996.tb00744.x>
- de Silva, S. (1989). Altiplano-Puna volcanic complex of the central Andes. Geology, 17(12), 1102-1106. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1989\)017<1102:APVCOT>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1989)017<1102:APVCOT>2.3.CO;2)
- de Silva, S., & Zielinski, G. (1998). Global influence of the AD 1600 eruption of Huaynaputina, Peru. Nature, 393, 455-458. <https://doi.org/10.1038/30948>
- de Silva, S., Zandt, G., Trumbull, R., & Viramonte, J. G. (2006). Large scale silicic volcanism-The result of thermal maturation of the crust. Advances in Geosciences, 13 (1), 215-230. WSPC/SPI, Series on Volcanology (chap. 21). [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1989\)017<1102:APVCOT>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1989)017<1102:APVCOT>2.3.CO;2)
- Durant, A. J., Villarosa, G., Rose, W. I., Delmelle, P., Prata, A. J., & Viramonte, J. G. (2012). Long range volcanic ash transport and fallout during the 2008 eruption of Chaitén volcano, Chile. Physics and Chemistry of the Earth, (45-46), 50-64. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2011.09.004>
- Falkner, T. (1774). Description of Patagonia. Hereford, Londres.
- Farias, C., & Collini, E. (2016). Base de datos para la VAAC VORHISE: Volcanes de la región y su historia eruptiva. Servicio Meteorológico Nacional de Argentina, 39-44. <https://repositorio.smn.gob.ar/bitstream/handle/20.500.12160/404/9-%20Volcanes%20de%20la%20regi%C3%B3n.pdf?sequence=3>
- Fernández de Oviedo y Valdes, G. (1851). Historia general y natural de las Indias, islas y tierra-firme del mar océano. Primera parte. Biblioteca Virtual Miguel de Cervantes. <https://www.cervantesvirtual.com/nd/ark:/59851/bmc668b5>
- Folch, A., Jorba, O., & Viramonte, J. G. (2008). Volcanic ash forecast: Application to the May 2008 Chaitén eruption. Natural Hazards and Earth System Sciences, 8, 927-940. <https://doi.org/10.5194/nhess-8-927-2008>
- Fourcade, N. H. (1960). Estudio petrográfico de las rocas de Caleta Potter Isla 25 de Mayo, Islas Shetland Del Sur. Publicaciones del Instituto Antártico Argentino (IAA N° 8), 119 pp.
- Forte, P., Rodríguez, L., Jácome Paz, M. P., Caballero García, L. C., Alpizar Segura, Y. A., Bustos, E., Moya, C. P., Espinoza, E., Vallejo, S., & Agosto, M. (2021). Volcano monitoring in Latin America: Taking a step forward [Preface]. Volcanica, 4(S1), vii-xxxiii. <https://doi.org/10.30909/vol.04.S1.viixxxiii>
- Francis, P. W., O'Callaghan, L., Kretzschmar, G. A., Thorpe, R. S., Sparks, R. S. J., Page, R. N., de Barrio, R. E., Gillou, G., & Gonzalez, O. E. (1983). The Cerro Galán ignimbrite. Nature, 301(5895), 51-53. <https://doi.org/10.1038/301051a0>
- Fuenzalida, V. H. (1941). Distribución de los volcanes del grupo de los Descabezados. Boletín del Museo Nacional de Historia Natural, 9, 19-30.
- Gay, C. (1844-1871). Historia física y política de Chile: Según documentos adquiridos en esta república durante doce años de residencia en ella (Vols. 1-XVI). Imprenta E. Thunot y Ca., Museo de Historia Natural de Santiago, París, Francia.
- García, S., & Badi, G. (2021). Towards the development of the first permanent volcano observatory in Argentina. Volcanica, 4(S1), pp. 21-48. <https://doi.org/10.30909/vol.04.S1.2148>
- Gardeweg, P. M., & Ramírez, C. F. (1987). The La Pacana Caldera and the Atana ignimbrite:

- A major ash-flow and resurgent caldera complex in the Andes of northern Chile. *Bulletin of Volcanology*, 49, 547–566. <https://doi.org/10.1007/BF01080449>
- González Bonorino, F. (1944). Nota sobre la presencia de ignimbritas en la Argentina. *Notas del Museo de La Plata, Geología*, 9 (35), 577-590, La Plata.
- González Bonorino, F., & Teruggi, M. E. (1952). *Léxico sedimentológico* (Pról. A. E. Riggi). Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia, 164 pp.
- González Ferrán, O. (1995). *Volcanes de Chile*. Instituto Geográfico Militar, 640 pp.
- Groeber, P., & Corti, H. (1920). Estudio geológico de las termas de Copahue. Estudio químico preliminar de las muestras de aguas recogidas en el terreno. Dirección General de Minas, Serie F, Informes Preliminares y Comunicaciones, Boletín 3: 1-20, Buenos Aires.
- Groeber, P. (1938). *Mineralogía y geología*. Espasa Calpe Argentina S.A., Buenos Aires-México.
- Groeber, P., & Perazzo, R. J. (1941). Captación y aprovechamiento de las aguas y fuentes de Copahue. Ministerio de Agricultura, Dirección de Parques Nacionales, Reserva Nacional Copahue, 1, 1–56. Buenos Aires, Argentina.
- Guaman Poma de Ayala, F. (1615-1980). (1980). Nueva crónica y buen gobierno (J. V. Murra & R. Adorno (Eds.)). Traducciones y análisis textual del quechua por J. L. Urioste. 3 Vols. México D. F. Siglo XXI Editores.
- Guest, J. E. (1969). Upper Tertiary ignimbrites in the Andean Cordillera of part of the Antofagasta Province of northern Chile. *Geological Society of America Bulletin*, 80, 337-362. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1969\)80\[337:UTIITA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1969)80[337:UTIITA]2.0.CO;2)
- Hildreth, W., & Drake, R. E. (1992). Volcán Quizapu, Chilean Andes. *Bulletin of Volcanology*, 54, 93-125. <https://doi.org/10.1007/BF00278002>
- Humboldt, A. (2003). Ascenso al volcán Jorullo. En Alejandro de Humboldt, *Una nueva visión del mundo* (pp. 113–121). México: CONACULTA y UNAM.
- Hurtado Torres, L. (2008). *Infierno en el paraíso: Nacimiento y evolución del volcán El Jorullo*. Morelia: Fondo Editorial Morevallado. 108 pp.
- Kappelman, J., Todd, L. C., Davis, C. A., Cerling, T. E., Feseha, M., Getahun, A., Yanny, S. (2024). Adaptive foraging behaviours in the Horn of Africa during Toba supereruption. *Nature*, 628(8007), 365-372. <https://doi.org/10.1038/s41586-024-07208-3>
- Keidel, J. (1934). Los volcanes gemelos de La Poma y su relación con la tectónica del valle Calchaquí. *Revista del Museo de La Plata*, 34, 387-410.
- Kittl, E. (1933). Estudio sobre los fenómenos volcánicos y material caído durante la erupción del grupo del “Descabezado” en el mes de abril de 1932. *Anales del Museo Nacional de Historia Natural*, 37, 321-364.
- Kittl, E. (1944). Estudios geológicos y petrográficos sobre los volcanes de la región cordillerana del sur de Mendoza y del grupo del Descabezado (Publicación de Mineralogía y Petrografía N.º 16, 52 pp.). Museo Argentino de Ciencias Naturales.
- Llambias, E. (2009). *Volcanes: nacimiento, estructura, dinámica*. Buenos Aires: Vázquez Mazzini Editores. 144 pp.
- Maksimov, A. P. (2008). A physicochemical model for deep degassing of water-rich magma. *Journal of Volcanology and Seismology*, 2(5), 356-363. <https://doi.org/10.1134/S0742046308050059>
- Mazzoni, M. M. (1986). *Procesos y depósitos piroclásticos*. Asociación Geológica Argentina, Serie B N° 14. Asociación Geológica Argentina
- Morelos Rodríguez, L. (2009). Reseña de “Infierno en el paraíso. Nacimiento y evolución del volcán El Jorullo” de L. Hurtado Torres. *Investigaciones Geográficas (México)*, (68), 143-145. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=56912236013>
- Morelos Rodríguez, L. (2022). El Parícutin en 100 imágenes. Historia gráfica del nacimiento del volcán más joven de América (edición electrónica). Colección Ensayos y Miradas.
- Murillo, G. (1943). *Cómo nace y crece un volcán: el Parícutin*. 28 pp. Edición rústica (paperback).
- Oppenheimer, C. (2011). *Eruptions that Shook the World*. Cambridge University Press.
- Oppenheimer, C. (2023). *Mountains of Fire: The Secret Lives of Volcanoes*. Londres: Hutchinson Heinemann.
- Ortiz, R., Vila, J., García, A., Diez, J. L., Aparicio, A., Soto, R., Viramonte, J. G., Risso, C., & Petrino, I. (1992). Geophysical features of Deception Island. En Y. Yoshida *et al.* (Eds.), *Recent Progress in Antarctic Earth Sciences* (pp 443-448). Terra Publishing, Tokyo.
- Osores, M. S., Folch, A., Collini, E., Villarosa, G., Durant, A., Pujol, G., & Viramonte, J. G. (2013). Validation of the FALL3D model for the 2008 Chaitén eruption using field and satellite data. *Andean Geology*, 40(2), 262–276. <https://doi.org/10.5027/andgeoV40n2-a05>

- Ovalle, A. (1646). *Histórica relación del Reyno de Chile y de las misiones y ministerios que exercita en él la Compañía de Jesús*. Roma: Francisco Cavallo, 455 p. <https://www.memoriachilena.gob.cl/602/w3-article-8380.html>
- Perdiguero, C. (1984). *Antología del Cerro San Bernardo*. Salta, Argentina: Fundación Carmen Rosa Ulivarri de Etchart. pp. 203-204.
- Poma de Ayala, G. F. (2008). *Nueva corónica y buen gobierno*. Tomo III. Fondo de Cultura Económica. México.
- Ramos, V., & Alonso, R. N. (2018). Tadeo Haenke: primer naturalista del Virreinato del Río de la Plata. *Anales de la Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 70, 117-146.
- Rittmann, A. (1933). Die geologisch bedingte Evolution und Differentiation des Somma-Vesuvmagmas. *Zeitschrift für Vulkanologie*, 15(1/2), 8-94.
- Rittmann, A. (1951). Orogénese et vulcanismo. *Archivos de Ciencias*, (4-5), 273-314. Ginebra.
- Romero, C. (2019). Influencia de la erupción del volcán Huaynaputina en el clima local y regional a través de registros geoquímicos de paleoclima (Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú).
- Salgado, P. A. (s.f.). Las múltiples dimensiones del fenómeno volcánico en la Patagonia Norte: Aportes científicos interdisciplinarios del Grupo GEA para el estudio de la erupción del Cordón Caulle. En S. Murriello & G. B. García (Comp.). *A diez años de la erupción del Puyehue-Cordón Caulle*. Bariloche: Editorial UNRN.
- Self, S., & Blake, S. (2008). Consequences of explosive supereruptions. *Elements*, 4(1), 41-46. <https://doi.org/10.2113/GSELEMENTS.4.1.41>
- Sruoga, P. (2016). Volcanología. En I. Podgorny et al. (Eds.), *Diccionario Histórico de las Ciencias de la Tierra en la Argentina* (pp. 385-389). La Plata: Archivo Histórico del Museo de La Plata.
- Sruoga, P. (2021). La volcanología en Argentina: Desarrollo y desafíos. Un ejemplo para destacar: Complejo Volcánico Laguna del Maule, Chile. *Boletín Brackebuschiano. Geociencias y Sociedad*, 4, 385-389. Asociación Geológica Argentina.
- Teruggi, M. E. (1950). Las rocas eruptivas al microscopio: Su sistemática y su nomenclatura (Serie Instituto Nacional de Investigación de las Ciencias Naturales, Publicación de extensión cultural y didáctica, N° 5). Casa Editora CONI.
- Teruggi, M. E., Mazzoni, M. M., Spaletti, L. A., & Andreis, R. R. (1978). Rocas piroclásticas: interpretación y sistemática. *Asociación Geológica Argentina. Publicación Especial*, 5, 1-45.
- Tilling, R. I. (2009). Volcanism and associated hazards: The Andean perspective. *Advances in Geosciences*, 22, 125-137. <https://doi.org/10.5194/adgeo-22-125-2009>
- Viramonte, J. G., Sureda, R. J., Bossi, G. E., Fourcade, N. H., & Omarini, R. H. (1974). Geochemical and mineralogical study of the high-temperature fumaroles from Deception Island, South Shetland, Antarctica. En *Proceedings of the International Symposium on Volcanology (Bull. Volcanologique Special Issue)*; IAVCEI, Nápoles, Italia.
- Viramonte, J. G., Seggiaro, R. E., Becchio, R. A., & Petrinovic, I. A. (1994). Erupción del volcán Lascar, Chile, Andes Centrales, abril de 1993. IV Reunión Internacional del Volcán de Colima Acta I, 149-151. Colima, México.
- Viramonte, J. G., Castro Godoy, S., Arnosio, J. M., Becchio, R., & Poodts, M. (2005). El campo geotermal de la caldera de Cerro Blanco: Utilización de imágenes ASTER. XXI Congreso Geológico Argentino, Acta II, 505-512. La Plata.
- Viramonte, J. G., & Incer Barquero, J. (2008). Masaya, the "Mouth of Hell", Nicaragua: Volcanological interpretation of the myths, legends and anecdotes. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 176(3), 419-426. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2008.01.038>
- Viramonte, J. G. (2013). Utilización del modelo WRF/ARW-Fall3D para el pronóstico de dispersión de cenizas durante la erupción de 2011 del Cordón Caulle. *Pyroclastic Flow: Journal of Geology*, 2(2, edición especial), 27-30. Chile.
- Wes, H., & Drake, R. E. (1992). Volcán Quizapu, Chilean Andes. *Bulletin of Volcanology* 54 (2): 93-125. <https://doi.org/10.1007/BF00278002>
- Zanardi, I. (1992). Realidad y ficción de la caída de ceniza en La Pampa: experiencia didáctica (133 pp.). General Pico, La Pampa, Argentina.

¿Quién Conserva el Bosque? Una Comparación del Uso del Suelo entre Diferentes Actores en el Chaco Salteño

Who Conserves the Forest? Land use Comparison among Different Stakeholders in the Salta Chaco Region

Cristian D. Venencia 

Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional (INENCO), Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) - Iniciativa Land Matrix, Punto Regional América Latina, INENCO-FUNDAPAZ, Universidad Nacional de Salta, Av. Bolivia 5150 (A4408FVL) Salta, República Argentina. cristiandv14@gmail.com

RESUMEN

El avance de la frontera agropecuaria en el Chaco salteño ha generado pérdida de biodiversidad, degradación del suelo, concentración de la tierra y conflictos socioambientales, alterando las relaciones sociales y provocando competencias por el uso y control del territorio. El objetivo de este estudio es comparar el grado de conservación del bosque y los patrones de uso del suelo entre grandes transacciones de tierras (GTT), comunidades indígenas y pequeños productores criollos. Para ello, se desarrolló un Índice de Conservación del Bosque que integra la pérdida de bosque nativo, la cobertura del suelo y la variación del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), permitiendo evaluar y comparar la conservación entre actores. Los resultados indican que las GTT presentan una mayor deforestación, un NDVI estable y el valor más bajo del índice de conservación; los criollos registran un aumento del NDVI y un mayor valor del índice; y las comunidades indígenas muestran un incremento intermedio del NDVI y también del valor del índice de conservación. El índice propuesto presenta limitaciones, como la falta de diferenciación entre vegetación natural y productiva del NDVI, la ausencia de indicadores socioeconómicos y considera a los grupos de actores de manera homogénea. Estos resultados permiten orientar la planificación territorial, la formulación de políticas diferenciadas según tipo de actor, la visibilización de prácticas de uso del suelo favorables a la conservación y la gestión sostenible del bosque nativo en el Chaco salteño.

Palabras clave: Comunidades indígenas; Grandes transacciones de tierras; Índice de conservación del bosque; Pequeños Productores.

ABSTRACT

The expansion of the agricultural frontier in the Chaco region, in the Province of Salta, has led to biodiversity loss, soil degradation, land concentration, and socio-environmental conflicts. These issues have altered social relations and triggered competition for land use and control. The objective of this study is to compare the degree of forest conservation and land-use patterns among large-scale land acquisitions (LSLAs), indigenous communities, and small creole producers. To this end, a Forest Conservation Index was developed that integrates native forest loss, land cover, and changes in the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), allowing conservation to be assessed and compared across stakeholders. The results indicate that the LSLAs show greater deforestation, stable NDVI, and the lowest conservation index. Creoles show an increase in NDVI and a higher index value, while indigenous communities show an intermediate increase in NDVI and also in the conservation index value. The index proposed has limitations, such as the lack of differentiation between natural and productive vegetation in the NDVI, the absence of socioeconomic indicators, and the homogeneous consideration of stakeholder groups. These results help guide territorial planning, the formulation of differentiated policies by stakeholder type, and the visibility of land-use practices conducive to conservation and the sustainable management of native forests in the Salta Chaco region.

Keywords: Forest conservation index; Indigenous communities; Large scale land acquisitions; Small Producers.

Venencia C. D. (2025). ¿Quién Conserva el Bosque? Una Comparación del Uso del Suelo entre Diferentes Actores en el Chaco Salteño. *Revista Ciencias Naturales* 3(2), 94-106. <https://id.caicyt.gov.ar/ark:/s29535441/oswkrag8m>

Recibido: 23/5/2025

Aceptado: 15/10/2025

Publicado: 27/10/2025

Editor: Juan Micheloud



INTRODUCCIÓN

Los bosques secos tropicales y subtropicales del mundo están experimentando una pérdida rápida de cobertura boscosa (Hansen *et al.*, 2013; Semper Pascual *et al.*, 2019). La expansión de la agricultura es una de las principales impulsoras de los procesos de cambio de uso del suelo y de la pérdida de bosques a nivel mundial (Geist & Lambin, 2002; Lambin & Meyfroidt, 2011; Sims *et al.*, 2025). La deforestación vinculada a la frontera agropecuaria ha generado pérdida de biodiversidad, degradación de la tierra, concentración de la propiedad y conflictos socioambientales (Cotula, 2012; Barral *et al.*, 2020).

El Gran Chaco, uno de los principales bosques secos del mundo (Bucher & Huszar, 1999; Semper Pascual *et al.*, 2019), se ha convertido en un foco global de deforestación debido a la acelerada expansión de la ganadería y la agricultura, principalmente para el cultivo de soja (Gasparri & Grau, 2009; Fehlenberg *et al.*, 2017). Los cambios en el uso y cobertura del suelo en la región durante los últimos 30 años responden a la interacción de factores climáticos, socioeconómicos y tecnológicos (Hansen *et al.*, 2013; Vallejos *et al.*, 2015; Piquer-Rodríguez *et al.*, 2018; Baumann *et al.*, 2022). El modelo agroexportador facilitó la llegada de nuevos inversores y la apropiación de grandes extensiones de tierras, principalmente por empresas nacionales y extranjeras (Sili y Soumoulou, 2011; le Polain de Waroux *et al.*, 2017; le Polain de Waroux, 2019). Estas adquisiciones, conocidas como grandes transacciones de tierras (GTT), están asociadas sobre todo a la producción de soja y ganadería para los mercados globales (Gasparri & le Polain de Waroux, 2015; le Polain de Waroux *et al.*, 2016).

Las transformaciones territoriales modificaron fuertemente las relaciones sociales y dieron lugar a competencias por el uso y control de la tierra y los recursos naturales (Slutsky, 2007; Smith *et al.*, 2010; Vallejos *et al.*, 2020a). La tierra se convirtió en un activo estratégico para los inversores, aumentando

el número de actores en competencia (Niewöhner *et al.*, 2016). El Chaco es una región culturalmente diversa, habitada por comunidades indígenas y pequeños productores criollos o familias criollas que dependen de los productos y servicios del bosque, en general bajo condiciones de tenencia de la tierra precaria (Goldfarb & van der Haar, 2016; Seghezzo *et al.*, 2017; Buchadas *et al.*, 2022; Camino *et al.*, 2023). En el Chaco salteño, se estima que al menos 2,9 millones de hectáreas son habitadas, utilizadas o reclamadas por comunidades indígenas y familias criollas (Seghezzo *et al.*, 2017; Salas Barboza *et al.*, 2019). Los criollos practican una ganadería extensiva tradicional (Tschopp *et al.*, 2020; Levers *et al.*, 2021), mientras que las comunidades indígenas combinan agricultura de subsistencia, caza, recolección y ganadería menor (Leake, 2010; Vallejos *et al.*, 2020b). En este escenario, existe una tensión entre los servicios ecosistémicos locales como forraje, leña, caza y recolección, y la producción agropecuaria para el mercado global (Baumann *et al.*, 2016; Gasparri, 2016).

Los distintos actores y sus usos del suelo influyen en la configuración de los paisajes (Baldi *et al.*, 2015), por lo tanto, resulta importante comprender cómo sus prácticas se relacionan con la conservación de los bosques nativos (Marinero *et al.*, 2017). Las dinámicas de deforestación en la región del Chaco están ampliamente documentadas (Vallejos *et al.*, 2015; Volante *et al.*, 2016; Baumann *et al.*, 2022), al igual que las diferencias en el uso del suelo y en los impactos sobre la conservación del bosque según los actores sociales involucrados (Marinero *et al.*, 2017; Levers *et al.*, 2021; Vallejos *et al.*, 2020b; Camino *et al.*, 2023; Vallejos *et al.*, 2025; Venencia *et al.*, 2025). Sin embargo, los estudios que integran estos aspectos mediante indicadores sintéticos que permitan evaluar de forma comparativa la pérdida de bosque, el cambio de cobertura y la dinámica de la vegetación son todavía escasos. El índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) ha sido una de las herramientas más empleadas para monitorear la vigorosidad de la vegetación y los cambios

de cobertura (Yengoh *et al.*, 2015a). No obstante, presenta limitaciones, ya que valores similares pueden corresponder tanto a bosques densos como a áreas agrícolas, lo que restringe su capacidad para discriminar entre vegetación natural y productiva (Yengoh *et al.*, 2015b; Huang *et al.*, 2019). En consecuencia, es necesario indicadores integrados que combinen diferentes dimensiones del estado y la transformación del bosque, particularmente en regiones de frontera agropecuaria. En este trabajo se propone un Índice de Conservación del Bosque (ICB) que integra la pérdida de bosque nativo, el cambio de cobertura del suelo y la variación del NDVI. Este índice constituye un aporte metodológico novedoso para evaluar de manera comparativa la conservación del bosque entre actores sociales con estrategias de uso del suelo diferentes. El objetivo del estudio es aplicar este índice para analizar y comparar la conservación del bosque entre grandes transacciones de tierras, comunidades indígenas y pequeños productores o criollos en el Chaco salteño.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La región del Chaco salteño, ubicada en el noroeste de Argentina, abarca aproximadamente 7,2 millones de hectáreas. Los patrones de precipitación varían entre 800 mm anuales en el oeste y alrededor de 550 mm en el este, generando un gradiente ambiental que influye directamente en la composición y estructura de los bosques (Píccolo *et al.*, 2008; Morello *et al.*, 2012). Hacia el oeste predominan bosques densos con alta diversidad de especies arbóreas, mientras que al este los bosques presentan menor densidad de árboles, con especies valiosas, y un sotobosque más desarrollado con parches de pastizales (Píccolo *et al.*, 2008; Baumann *et al.*, 2018). Los suelos del Chaco salteño muestran una heterogeneidad edáfica. En el sector occidental se encuentran suelos de textura media a gruesa, como Argiustoles, Haplustalfes, Ustipsamentos y Haplustoles, distribuidos según el relieve y la disponibilidad de humedad, mientras que

los Haplustertes de textura fina se localizan en áreas más bajas y húmedas (Moretti *et al.*, 2012). La presencia de horizontes impermeables y fluctuaciones en las napas freáticas condiciona la disponibilidad de agua para la vegetación, y también pueden afectar tanto a la biodiversidad como a las actividades productivas (Camardelli *et al.*, 2021).

En las últimas décadas, la vegetación natural de la región ha experimentado transformaciones profundas debido a la expansión de la agricultura industrial y la ganadería (Gasparri & Grau, 2009; Volante *et al.*, 2016). Las principales actividades productivas incluyen cultivos de soja, maíz, trigo, sorgo y diversos tipos de porotos, junto con establecimientos ganaderos que operan sobre pasturas naturales o implantadas y sistemas de feedlot (Píccolo *et al.*, 2008; Gasparri *et al.*, 2013; Baumann *et al.*, 2022; Mosciaro *et al.*, 2023). La región también alberga comunidades indígenas y pequeños productores rurales, conocidos como criollos, que practican una economía de subsistencia basada en agricultura a pequeña escala, ganadería extensiva, caza y recolección (Leake, 2010; Levers *et al.*, 2021; Vallejos *et al.*, 2025). La expansión de la frontera agropecuaria y la conversión de bosques y pastizales ha alterado la disponibilidad de recursos naturales, generando conflictos socioambientales entre distintos actores locales. Estos conflictos se derivan de la pérdida de cobertura forestal, la presión sobre los recursos del territorio y la competencia por el uso del suelo (Venencia *et al.*, 2012; Volante *et al.*, 2016; Seghezze *et al.*, 2017; Piquer-Rodríguez *et al.*, 2018; Salas Barboza *et al.*, 2019).

Identificación de las grandes transacciones de tierras

Para identificar las GTT se utilizó la metodología desarrollada por Land Matrix (www.landmatrix.org), una iniciativa global e independiente que tiene como objetivo mejorar la transparencia en torno a la identificación y monitoreo de las transacciones de tierras, a partir de recopilar y proporcionar datos e información desde una red de socios globales y regionales. La iniciativa define a las GTT

como aquellas transacciones que (a) conllevan la transferencia de derechos de uso, control o posesión de la tierra por medio de la venta, arrendamiento o concesión; (b) realizadas a partir del año 2000; (c) con una superficie de 200 hectáreas o más; y (c) que implican la conversión potencial, para uso comercial, de tierras de pequeña producción, de uso comunitario local, o con importante provisión de servicios ecosistémicos (Anseeuw *et al.*, 2012; Nolte *et al.*, 2016). Además, se llevó a cabo un relevamiento integral a escala predial de las GTT en la región utilizando la base de datos de catastros de la provincia de Salta y datos adicionales recopilados de sitios web, periódicos, boletines de las compañías y entrevistas con actores locales (Salas Barboza *et al.*, 2019) (Tabla 1).

Identificación de las comunidades indígenas y familias criollas

La identificación de las comunidades indígenas se realizó a partir de las bases de datos de organizaciones no gubernamentales y organismos estatales nacionales y provinciales. Para delimitar el área de ocupación de cada comunidad, se calculó un buffer de 18 km de radio alrededor de su localización, basado en la máxima distancia recorrida para realizar las actividades de subsistencia (Leake, 2010; Vallejos *et al.*, 2020b; Vallejos *et al.*, 2025) (Tabla 1).

Por otro lado, la identificación de las familias criollas se realizó combinando datos relevados a campo, información proporcionada por organismos estatales de la provincia de Salta y organizaciones no gubernamentales, junto con el análisis de imágenes satelitales siguiendo la metodología propuesta por Grau *et al.* (2008). Las familias criollas fueron localizadas a partir de identificar las características de los núcleos familiares aislados, conocidos como “puestos”. Por lo tanto, las áreas de ocupación de los criollos se estimaron asignando un buffer de 5 km de radio alrededor de cada puesto, considerado como el área máxima utilizada para las actividades productivas y el pastoreo del gana-

do vacuno (Grau *et al.*, 2008; Levers *et al.*, 2021) (Tabla 1).

Índice simplificado de conservación del bosque

Para la elaboración del índice de conservación se utilizó el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI). El NDVI tiene un rol importante en el desarrollo de mapas de cobertura del suelo, y para el monitoreo y la evaluación de la vegetación, con el objetivo de mejorar la comprensión, la predicción y los impactos de diferentes perturbaciones sobre los recursos vegetales (Yengoh *et al.*, 2015a). Sin embargo, el uso del NDVI para detectar áreas degradadas y no degradadas puede ser un desafío, como así también para áreas de cobertura vegetal arbórea y áreas de cultivos, debido a que pueden existir valores similares cercanos entre sí (Yengoh *et al.*, 2015b; Huang *et al.*, 2019). Por lo tanto, se incorporaron otras variables de cobertura y uso del suelo de la región que permiten minimizar algunos sesgos propios del NDVI. Las variables analizadas se obtuvieron de herramientas de sistemas de información geográfica, tales como Google Earth Engine (GEE) y la plataforma MapBiomás Chaco (<https://chaco.mapbiomas.org/>).

El índice de conservación de bosques puede definirse como un índice que combina diferentes variables del estado y transformación del bosque para evaluar y comparar su grado de conservación durante el período de tiempo desde el año 2000 al 2020, teniendo en cuenta los diferentes actores identificados en el área de estudio. La variable pérdida de bosque permite evaluar la degradación ambiental que se asocia a la expansión de la frontera agropecuaria (Hansen *et al.*, 2013; Vallejos *et al.*, 2015), la cobertura del suelo de pasturas y cultivos representa el cambio de uso del suelo vinculado a la deforestación (Grau *et al.*, 2005), mientras que el bosque nativo remanente hace referencia al estado de conservación del bosque (Grau *et al.*, 2005; Vallejos *et al.*, 2015). Se considera que una mayor área de bosque remanente, una menor superficie transformada y una

Actor	Fuente de datos	Unidad de referencia	Método de delimitación del área de ocupación	Área de ocupación establecida
Grandes transacciones de tierras	Base de datos de Land Matrix, Dirección General de Inmuebles de la Provincia de Salta	Localización del polígono de la transacción	Superficie de 200 hectáreas o más (Anseeuw <i>et al.</i> , 2012; Nolte <i>et al.</i> , 2016)	Superficie de la transacción
Comunidades indígenas	Instituto Nacional de Asuntos Indígenas (INAI), Instituto Provincial de Pueblos Indígenas de Salta (IPPIS), Infraestructura de Datos Espaciales de Salta (IDESA), Fundación de Acompañamiento Social de la Iglesia Anglicana del Norte Argentino (ASOCIANA)	Localización de las comunidades indígenas	Buffer de 18 km alrededor de cada comunidad (Leake 2010; Vallejos <i>et al.</i> 2020b; Vallejos <i>et al.</i> , 2025)	Máxima distancia recorrida para actividades de subsistencia
Familias criollas	Relevamiento de campo, Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, Fundación para el Desarrollo en Justicia y Paz (FUNDAPAZ), métodos de teledetección	Localización del puesto de cada familia criolla	Buffer de 5 km alrededor de cada puesto (Grau <i>et al.</i> , 2008, Levers <i>et al.</i> , 2021)	La máxima área utilizada para actividades productivas y pastoreo del ganado mayor

Tabla 1. Metodología y fuentes de información para la identificación de los diferentes actores

mejora en el NDVI para el periodo de tiempo analizado, son indicativos de un mayor grado de conservación. El ICB toma valores entre 0, bajo valor de conservación y 1, alto valor de conservación relativo en el conjunto de actores analizados. El índice se calcula a partir de la siguiente fórmula:

$$ICB=[(1-PB)+(1-CA)+dNDVI+BN]/4$$

ICB: índice de conservación de bosques.
PB: pérdida de bosque normalizada para cada actor desde el año 2000 al 2020.
CA: porcentaje normalizado de la superficie agropecuaria (cultivos y pasturas) en el año 2020 con relación al total de superficie para el año 2000 para cada actor.
dNDVI: diferencia normalizada del NDVI promedio para el año 2000 y el NDVI promedio para el año 2020 para cada actor. Los valores de este índice pueden variar desde -1 a 1, donde los valores cercanos a 1 se asocian a la vegetación densa y saludable, los valores negativos generalmente indican ausencia de vegetación principalmente cuerpos de agua, y los valores cercanos a 0 están asociados al suelo desnudo o roca.
BN: porcentaje de bosque nativo remanente para el año 2020 normalizado para cada actor.

Las variables PB y CA se restan de 1 para que los valores más altos en el índice reflejen mejor la conservación, la menor pérdida y el menor uso agropecuario. Además, todas las variables fueron normalizadas para mejorar la comparación entre actores.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las GTT identificadas fueron 120, las cuales abarcan más de 1,6 millones de hectáreas, equivalente al 22% de la región (Fig. 1). La superficie en producción de las GTT (área deforestada) es superior a 600 mil hectáreas, dedicadas principalmente a la ganadería, soja, maíz y poroto. Las GTT tienen una importante presencia de inversores nacionales tanto en el número de acuerdos como así también en superficie, los cuales representan el 93% y el 83%, respectivamente. Por otro lado, se identificaron 620 comunidades indígenas pertenecientes a las diferentes etnias que representan la diversidad étnica y cultural de la región del Chaco (Fig. 1). Estas comunidades practican sus modos de vida tradicionales, como la agricultura de subsistencia, la caza

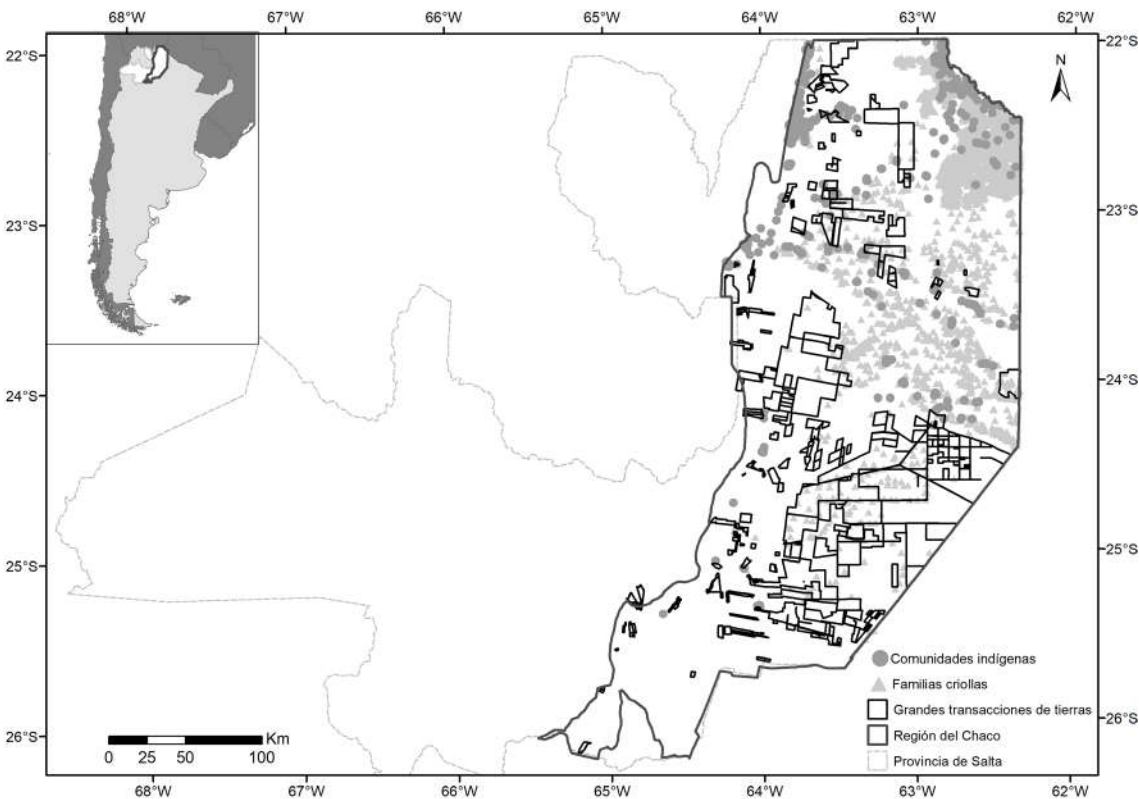


Figura 1. Localización de los diferentes actores en el área de estudio.

y la pesca, y utilizan de forma integral los recursos que proveen los bosques nativos (Leake, 2010). El área de ocupación y uso de las comunidades indígenas se estimó en más 4,2 millones de hectáreas, lo que representa el 59% de la superficie de la región del Chaco salteño. También, se identificaron 932 puestos que pertenecen a las familias criollas (Fig. 1). La economía doméstica de los criollos depende en gran medida de su habilidad para la cría extensiva de ganado a campo abierto en tierras fiscales o privadas, en condiciones relativamente desfavorables en términos edáficos y climáticos (Tschopp *et al.*, 2020). En cuanto al área de ocupación y uso, se estimó una superficie de más de 1,4 millones de hectáreas, lo que equivale al 20% de la superficie total del área de estudio.

Los datos obtenidos de NDVI para los diferentes actores muestran que las GTT tienen un índice promedio de 0,40 para el año 2000 y 2020. Mientras que las comunidades

indígenas tienen una variación de 0,42 a 0,49 en los años de estudio, y los criollos presentan valores de 0,40 y 0,50 para estos mismos años. Los valores promedios de NDVI muestran un aumento de la vegetación verde para las comunidades indígenas y los criollos, y una estabilidad para las GTT. Estos valores pueden estar matizados por la falta de diferenciación entre la vigorosidad de la cobertura del suelo y la influencia de las precipitaciones (Huang *et al.*, 2021), lo que pone de manifiesto las posibles limitaciones del NDVI como única herramienta para evaluar la conservación del bosque. La Fig. 2 muestra el cambio del NDVI en el período de tiempo estudiado para las áreas de uso y ocupación identificadas en relación con cada uno de los actores. Las áreas con valores cercanos a -0,2 indican una gran pérdida de la vegetación verde, las cuales se encuentran en una mayor proporción dentro de las zonas delimitadas por las GTT. Esto es coincidente con la actividad productiva agropecuaria y el cambio de uso del suelo que

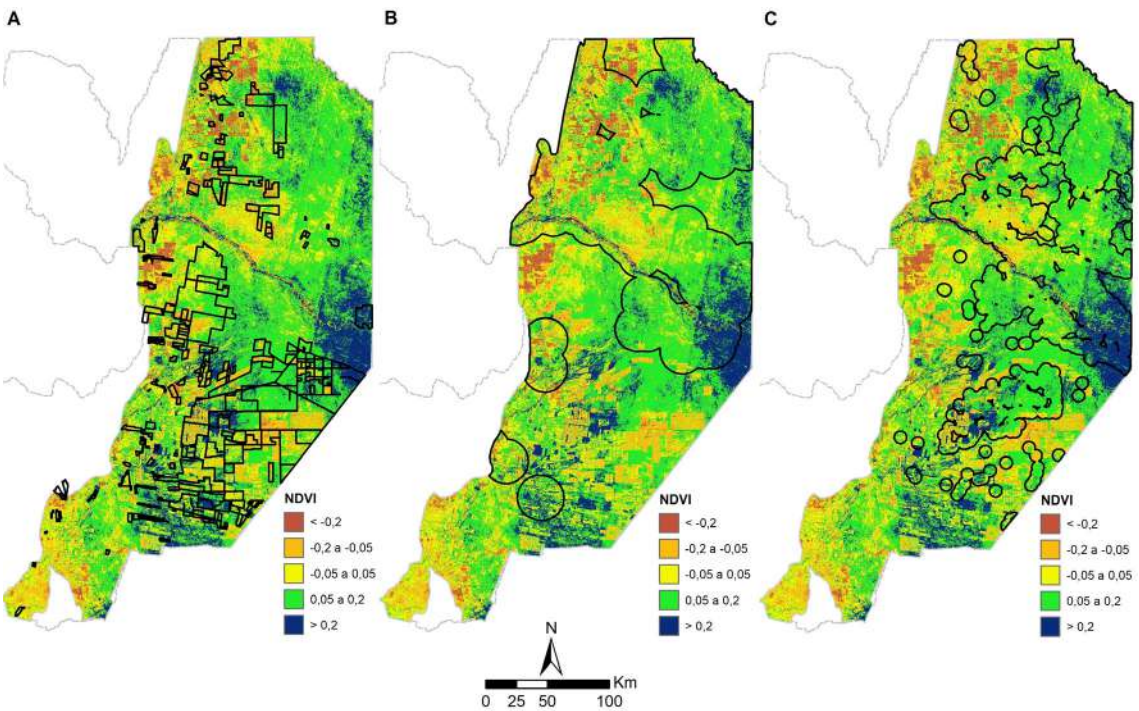


Figura 2. Cambios producidos en el NDVI para el período comprendido entre el año 2000 y 2020 para diferentes actores. A: las GTT, B: comunidades indígenas, C: familias criollas

caracteriza a estas transacciones (Gasparri & le Polain de Waroux, 2015; le Polain de Waroux *et al.*, 2016; Marinaro *et al.*, 2017). Mientras que los valores positivos que tienden hacia 0,2 muestran un aumento de la vegetación, y se encuentran dentro de los límites de las áreas de ocupación de las comunidades indígenas y familias criollas. Estos valores pueden indicar que las prácticas y actividades de subsistencia realizadas por ambos grupos tienden a conservar las áreas boscosas (Leake, 2010; Marinaro *et al.*, 2017; Levers *et al.*, 2021; Camino *et al.*, 2023; Pratzer *et al.*, 2023).

El cambio de cobertura del suelo es un indicador importante para diferenciar el uso que cada uno de los actores realiza en el territorio (Pratzer *et al.*, 2024; 2025). Entre los años 2000 y 2020 la cobertura del suelo muestra patrones diferenciados, debido a la magnitud de la reducción del bosque nativo (Fig. 3). Las GTT registran la mayor pérdida, lo que implica una reducción del 26,7% de la superficie de bosques. Esta disminución corresponde con un marcado aumento de la

superficie destinada a pasturas y cultivos, lo que sugiere un proceso de cambio de uso del suelo asociado a los modelos de producción agroindustrial propios de este tipo de actor con mayor capacidad de capital y tecnología (Gasparri & le Polain de Waroux, 2015; Goldfarb & van der Haar, 2016; le Polain de Waroux *et al.*, 2016). En contraste, los territorios habitados por productores criollos e indígenas mantienen una cobertura forestal más elevada en 2020, a pesar de registrar también una expansión agrícola. En el caso de los criollos, la superficie de cultivos se incrementó en un 3,4% y las pasturas en un 3,1%. Mientras que en las comunidades indígenas los cultivos aumentaron un 5,9% y las pasturas un 2,1%. La mayor cobertura de bosques en las áreas de uso de comunidades y criollos sugiere un modo de uso del suelo más conservacionista, con una mayor dependencia de los bienes y servicios del bosque (Marinaro *et al.*, 2017; Vallejos *et al.*, 2020b; Tschopp *et al.*, 2020).

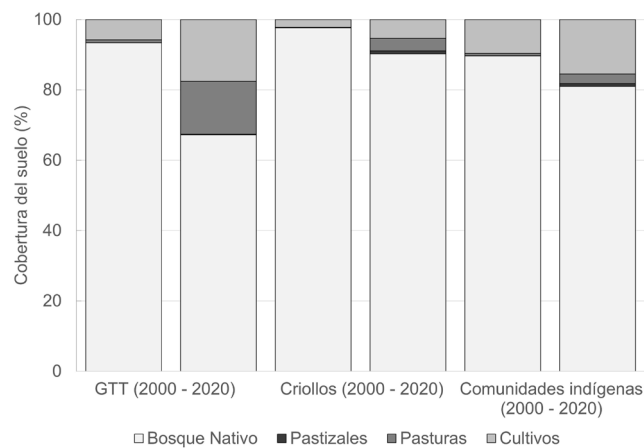


Figura 3. Distribución de las clases de cobertura del suelo para los años 2000 y 2020 en las áreas de uso de los diferentes tipos de actores.

La Tabla 2 muestra los valores de las variables que componen el Índice de Conservación de Bosques (ICB) para cada tipo de actor. El ICB fue elaborado como una medida sintética para evaluar y comparar la conservación del bosque nativo, combinando un grupo de variables que representan el uso del suelo de distintos actores en el Chaco salteño. Los valores del ICB obtenidos fueron el máximo para los criollos (1), intermedio para las comunidades indígenas (0,71) y mínimo para las GTT (0), evidenciando diferencias marcadas en las dinámicas de uso del suelo y conservación del bosque.

El valor del ICB de las GTT está asociado a la mayor pérdida de bosque, la expansión significativa de cultivos y pasturas, y un NDVI que se mantiene igual en el período de estudio. Estos datos muestran que las GTT forman parte del proceso de avance de la frontera agropecuaria, llevando a cabo estrategias productivas orientadas a la producción agropecuaria a gran escala (Gasparri & Grau, 2009; le Polain de Waroux *et al.*, 2017; Marinaro *et al.*, 2017; le Polain de Waroux, 2019). En contraste, los pequeños productores o criollos alcanzan el valor más alto del ICB, conservando más del 90 % del bosque, manteniendo un bajo cambio del uso del suelo a usos agropecuarios, y mostrando un aumento en el NDVI. Los territorios indígenas presentan un valor de ICB intermedio, con

una importante superficie de conservación del bosque (81 %) y un aumento del NDVI. Sin embargo, el área de uso de las comunidades indígenas muestra una expansión relevante de cultivos, que podría reflejar la dinámica del avance de la frontera agropecuaria por parte de grandes productores o empresas agropecuarias sobre sus territorios, debido a la precariedad de la tenencia de la tierra (Vallejos *et al.*, 2020b; Venencia *et al.*, 2024; Vallejos *et al.*, 2025).

El ICB permitió evidenciar que la conservación del bosque depende de las políticas de conservación y de las visiones sociales, culturales y económicas de cada actor. Este enfoque puede ser útil para orientar políticas diferenciadas de conservación y uso sostenible en territorios diversos y conflictivos como el Chaco salteño. El ICB es una herramienta integral y sintética que sirve para evaluar de forma comparativa el comportamiento de distintos actores sociales con respecto a la conservación del bosque nativo en un contexto de avance de la frontera agropecuaria. Este modelo busca incorporar un enfoque que integren variables biofísicas y sociales (actores del territorio) como un primer paso para el análisis de los sistemas socio-ecológicos (Ostrom, 2009; Fischer *et al.*, 2015).

Sin embargo, el modelo del ICB presenta limitaciones, tales como el valor de

Actor	Superficie (ha)	Bosque 2000 (ha)	Bosque 2020 (ha)	Cultivos 2020 (ha)	Pasturas 2020 (ha)	NDVI 2000	NDVI 2020	ICB
GTT	1.585.438	1.480.752	1.065.574	278.471	237.754	0,40	0,40	0
Criollos	2.890.447	2.821.657	2.594.303	153.394	103.230	0,40	0,50	1
Comunidades indígenas	3.397.156	3.046.021	2.736.376	522.335	93.928	0,42	0,49	0,71

Tabla 2. Variables del estado y transformación del bosque, y el Índice de Conservación de Bosques por tipo de actor en el Chaco salteño.

ponderación igual para todas las variables, que podría no reflejar adecuadamente la relevancia de ciertos factores en la dinámica del cambio de uso del suelo y la conservación del bosque. El uso de imágenes satelitales Landsat y del NDVI promedio tampoco ofrece la precisión suficiente para diferenciar entre coberturas como cultivos y bosque denso, lo cual puede llevar a sobreestimaciones de la vegetación en áreas transformadas, en particular en las producciones agrícolas a gran escala (Yengoh *et al.*, 2015b; Huang *et al.*, 2021). Asimismo, el índice no incorpora indicadores sociales y económicos, tales como el régimen de tenencia de la tierra, el acceso a servicios o los métodos de producción, que podrían mejorar su valor explicativo (Leake, 2010; Marinaro *et al.*, 2017; Levers *et al.*, 2021; Camino *et al.*, 2023; Pratzer *et al.*, 2023). Finalmente, la definición del área de ocupación y uso como una sola para cada grupo de actores puede ocultar diferencias internas relevantes, dado que no necesariamente presentan comportamientos homogéneos respecto al uso del suelo (Pratzer *et al.*, 2024; 2025).

Las percepciones sobre los impactos positivos y negativos de los distintos usos del suelo refuerzan la necesidad de interpretar los resultados con moderación. En la población urbana local, las actividades agropecuarias a gran escala son valoradas por beneficios generales como mejoras en la infraestructura vial y, en algunos casos, oportunidades de empleo (Marinaro *et al.*, 2022). Sin embargo, para la población rural, el establecimiento de estas empresas suele representar una restricción adicional sobre los recursos naturales de uso común (Altrichter & Basurto, 2008; Vallejos *et al.*, 2020a; Marinaro *et al.*,

2022). Además, incluyen impactos negativos como la pérdida acelerada de bosque nativo, la degradación de servicios ecosistémicos y la profundización de los conflictos por la tierra (Cotula, 2012; Barral *et al.*, 2020). En contraste, las comunidades indígenas y las familias criollas, aunque de menor escala económica en términos de mercado, cumplen un rol clave en la seguridad alimentaria, la reproducción cultural y la conservación de los bienes comunes del bosque (Leake, 2010; Tschopp *et al.*, 2020; Camino *et al.*, 2023; Pratzer *et al.*, 2023). Estas diferencias también se expresan en las visiones de desarrollo, ya que mientras que los actores vinculados a la producción agropecuaria a gran escala conciben la deforestación y el cambio de uso del suelo como progreso y salida a la pobreza, las comunidades indígenas y los pequeños productores priorizan la preservación del bosque, su cultura y sus formas de vida (Zepharovich *et al.*, 2020).

CONCLUSIONES

La identificación de las áreas de uso de los diferentes grupos de actores permite afirmar que los mismos presentan diferencias en su comportamiento con relación al cambio de uso del suelo y la conservación del bosque en el Chaco salteño. El ICB muestra estas diferencias, ya que las GTT obtuvieron el valor mínimo del índice, lo que indica una mayor conversión de bosque a usos agropecuarios, con un NDVI estable a lo largo del período de estudio. Los criollos o pequeños productores alcanzaron el mayor valor de conservación, con bajos niveles de deforestación y aumentos en el NDVI, mientras que las comunidades indígenas se ubicaron en una posición

intermedia, con niveles medios de cambio de uso del suelo debido al avance de la frontera agropecuaria sobre sus territorios. Los criollos y las comunidades indígenas cumplen un rol importante en la conservación del bosque, especialmente bajo un contexto de creciente presión por el avance de la frontera agropecuaria. El ICB se presenta como una herramienta útil para la evaluación comparativa de las diversas estrategias de uso del suelo, que puede contribuir a la planificación territorial participativa, al diseño de políticas diferenciadas por tipo de actor y a la visibilización de prácticas de manejo que favorecen la conservación. Finalmente, resulta necesario reforzar las políticas de ordenamiento territorial y de seguridad en la tenencia de la tierra, con el objetivo de fortalecer la función que desempeñan los actores en la gestión sustentable del bosque nativo.

REFERENCIAS

- Altrichter, M., & Basurto, X. (2008). Effects of Land Privatisation on the Use of Common-pool Resources of Varying Mobility in the Argentine Chaco. *Conservation & Society*, 6(2), 154–165.
- Anseeuw, W., Boche, M., Breu, T., Giger, M., Lay, J., Messerli, P., & Nolte, K. (2012). *Transnational Land Deals for Agriculture in the Global South. Analytical Report based on the Land Matrix Database*. CDE/CIRAD/GIGA, Bern/Montpellier/Hamburg.
- Baldi, G., Houspanossian, J., Murray, F., Rosales, A. A., Rueda, C. V., & Jobbágy, E. G. (2015). Cultivating the dry forests of South America: Diversity of land users and imprints on ecosystem functioning. *Journal of Arid Environments*, 123, 47–59. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2014.05.027>
- Barral, M. P., Villarino, S., Levers, C., Baumann, M., Kuemmerle, T., & Mastrangelo, M. (2020). Widespread and major losses in multiple ecosystem services as a result of agricultural expansion in the Argentine Chaco. *The Journal of Applied Ecology*, 57(12), 2485–2498. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13740>
- Baumann, M., Gasparri, I., Buchadas, A., Oeser, J., Meyfroidt, P., Levers, C., Romero-Muñoz, A., le Polain de Waroux, Y., Müller, D., & Kuemmerle, T. (2022). Frontier metrics for a process-based understanding of deforestation dynamics. *Environmental Research Letters*, 17(9), 095010. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac8b9a>
- Baumann, M., Levers, C., Macchi, L., Bluhm, H., Waske, B., Gasparri, N. I., & Kuemmerle, T. (2018). Mapping continuous fields of tree and shrub cover across the Gran Chaco using Landsat 8 and Sentinel-1 data. *Remote Sensing of Environment*, 216, 201–211. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.06.044>
- Baumann, M., Piquer-Rodríguez, M., Fehlenberg, V., Gavier Pizarro, G., & Kuemmerle, T. (2016). Land-use competition in the south American Chaco. En J. Niewöhner, T. Krueger, J. O. Nielsen, H. Haberl, C. Lauk, J. Lutz, & D. Müller (Eds.). *Land Use Competition Human-Environment Interactions*, pp. 215–229. Springer International Publishing, Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-319-33628-2_13
- Buchadas, A., Baumann, M., Meyfroidt, P., & Kuemmerle, T. (2022). Uncovering major types of deforestation frontiers across the world's tropical dry woodlands. *Nature Sustainability*, 5(7), 619–627. <https://doi.org/10.1038/s41893-022-00886-9>
- Bucher, E. H., & Huszar, P. C. (1999). Sustainable management of the Gran Chaco of South America: Ecological promise and economic constraints. *Journal of Environmental Management*, 57(2), 99–108. <https://doi.org/10.1006/jema.1999.0290>
- Camardelli, M. C., Miranda, S., & Córdoba, G. S. (2021). Cartografía de Unidades Ambientales Homogéneas (UAH): Un insumo para el ordenamiento del bosque chaqueño en Salta. *Ecología Austral*, 31(3), 420–430. <https://doi.org/10.25260/ea.21.31.3.0.1245>
- Camino, M., Aceves, P. A. V., Alvarez, A., Chianetta, P., de la Cruz, L. M., Alonzo, K., Vallejos, M., Zamora, L., Neme, A., Altrichter, M., & Cortez, S. (2023). Indigenous Lands with secure land-tenure can reduce forest-loss in deforestation hotspots. *Global Environmental Change: Human and Policy Dimensions*, 81(102678), 102678. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2023.102678>
- Cotula, L. (2012). The international political economy of the global land rush: A critical appraisal of trends, scale, geography and drivers. *The Journal of Peasant Studies*, 39(3–4), 649–680. <https://doi.org/10.1080/03066150.2012.674940>
- Fehlenberg, V., Baumann, M., Gasparri, N. I., Piquer-Rodríguez, M., Gavier-Pizarro, G., & Kuemmerle, T. (2017). The role of soybean production as an underlying driver of deforestation in the South American Chaco. *Global Environmental Change: Human and Policy Dimensions*, 45, 24–34. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.05.001>

- Fischer, J., Gardner, T. A., Bennett, E. M., Balvanera, P., Biggs, R., Carpenter, S., Daw, T., Folke, C., Hill, R., Hughes, T. P., Luthe, T., Maass, M., Meacham, M., Norström, A. V., Peterson, G., Queiroz, C., Seppelt, R., Spierenburg, M., & Tenhunen, J. (2015). Advancing sustainability through mainstreaming a social-ecological systems perspective. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 14, 144–149. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2015.06.002>
- Gasparri, N. I., Grau, H. R., & Gutiérrez Angonese, J. (2013). Linkages between soybean and neotropical deforestation: Coupling and transient decoupling dynamics in a multi-decadal analysis. *Global Environmental Change: Human and Policy Dimensions*, 23(6), 1605–1614. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2013.09.007>
- Gasparri, N. I., & Grau, H. R. (2009). Deforestation and fragmentation of Chaco dry forest in NW Argentina (1972–2007). *Forest Ecology and Management*, 258(6), 913–921. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.02.024>
- Gasparri, N. I. (2016). The transformation of land-use competition in the Argentinean dry Chaco between 1975 and 2015. En J. Niewöhner, T. Krueger, J. O. Nielsen, H. Haberl, C. Lauk, J. Lutz, & D. Müller (Eds.). *Land Use Competition Human-Environment Interactions*, pp. 59–73. Springer International Publishing, Switzerland.
- Gasparri, N. I., & le Polain de Waroux, Y. (2015). The Coupling of South American Soybean and Cattle Production Frontiers: New Challenges for Conservation Policy and Land Change Science: The coupling of soy and cattle frontiers. *Conservation Letters*, 8(4), 290–298. <https://doi.org/10.1111/conl.12121>
- Geist, H. J., & Lambin, E. F. (2002). Proximate causes and underlying driving forces of tropical deforestation. *Bioscience*, 52(2), 143. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2002\)052\[0143:pcaudf\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2002)052[0143:pcaudf]2.0.co;2)
- Goldfarb, L., & van der Haar, G. (2016). The moving frontiers of genetically modified soy production: shifts in land control in the Argentinian Chaco. *The Journal of Peasant Studies*, 43(2), 562–582. <https://doi.org/10.1080/03066150.2015.1041107>
- Grau, H. R., Gasparri, N. I., & Aide, T. M. (2005). Agriculture expansion and deforestation in seasonally dry forests of north-west Argentina. *Environmental Conservation*, 32(2), 140–148. <https://doi.org/10.1017/s0376892905002092>
- Grau, H. R., Gasparri, N. I., & Aide, T. M. (2008). Balancing food production and nature conservation in the Neotropical dry forests of northern Argentina: Food Production and Neotropical Dry Forests. *Global Change Biology*, 14(5), 985–997. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01554.x>
- Hansen, M. C., Potapov, P. V., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S. A., Tyukavina, A., Thau, D., Stehman, S. V., Goetz, S. J., Loveland, T. R., Kommareddy, A., Egorov, A., Chini, L., Justice, C. O., & Townshend, J. R. G. (2013). High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. *Science*, 342(6160), 850–853. <https://doi.org/10.1126/science.1244693>
- Huang, L., Xiang, W., Wu, J., Traxler, C., & Huang, J. (2019). Integrating GeoDesign with landscape sustainability science. *Sustainability*, 11(3), 833. <https://doi.org/10.3390/su11030833>
- Lambin, E. F., & Meyfroidt, P. (2011). Global land use change, economic globalization, and the looming land scarcity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108(9), 3465–3472. <https://doi.org/10.1073/pnas.1100480108>
- le Polain de Waroux, Y. (2019). Capital has no homeland: The formation of transnational producer cohorts in South America's commodity frontiers. *Geoforum; Journal of Physical, Human, and Regional Geosciences*, 105, 131–144. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2019.05.016>
- le Polain de Waroux, Y., Baumann, M., Gasparri, N. I., Gavier-Pizarro, G., Godar, J., Kuemmerle, T., Müller, R., Vázquez, F., Volante, J. N., & Meyfroidt, P. (2017). Rents, actors, and the expansion of commodity frontiers in the gran Chaco. *Annals of the American Association of Geographers*, 108(1), 204–225. <https://doi.org/10.1080/24694452.2017.1360761>
- le Polain de Waroux, Y., Garrett, R. D., Heilmayr, R., & Lambin, E. F. (2016). Land-use policies and corporate investments in agriculture in the Gran Chaco and Chiquitano. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 113(15), 4021–4026. <https://doi.org/10.1073/pnas.1602646113>
- Leake, A. (2010). *Los pueblos indígenas cazadores y recolectores del Chaco Salteño: Población, economía y tierras*. Fundación Asociana, Instituto Nacional de Asuntos Indígenas, Universidad Nacional de Salta, Editorial MILOR, Salta, Argentina.
- Levers, C., Romero-Muñoz, A., Baumann, M., De Marzo, T., Fernández, P. D., Gasparri, N. I., Gavier-Pizarro, G. I., Waroux, Y. le P. de, Piquer-Rodríguez, M., Semper-Pascual, A., & Kuemmerle, T. (2021). Agricultural expansion and the ecological marginalization of forest-dependent people. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 118(44), e2100436118. <https://doi.org/10.1073/pnas.2100436118>
- Marinaro, S., Sacchi, L., & Gasparri, N. I. (2022). From whom and for what? Deforestation in

- Dry Chaco from local-urban inhabitants' perception. *Perspectives in Ecology and Conservation*, 20(2), 141–150.
<https://doi.org/10.1016/j.pecon.2021.12.003>
- Marinaro, S. Grau, H. R., Gasparri, N. I., Kuemmerle, T., & Baumann, M. (2017). Differences in production, carbon stocks and biodiversity outcomes of land tenure regimes in the Argentine Dry Chaco. *Environmental Research Letters*, 12(4), 045003.
<https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa625c>
- Morello, J., Matteucci, S. D., Rodríguez, A. F., Silva, M. E., & de Haro, J. C. (2012). *Ecorregiones y complejos ecosistémicos argentinos*. Orientación Gráfica Editora, Buenos Aires, Argentina.
- Moretti, L. M., Rodríguez, D. M., Angelini, M. E., & Morrás, H. J. M. (2012). Génesis de suelos en un sector del piedemonte aluvial del Chaco salteño. *Ciencia Del Suelo*, 30(2), 161–172.
- Mosciaro, M. J., Seghezzo, L., Texeira, M., Paruelo, J., & Volante, J. (2023). Where did the forest go? Post-deforestation land use dynamics in the Dry Chaco region in Northwestern Argentina. *Land Use Policy*, 129(106650), 106650.
<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2023.106650>
- Niewöhner, J., Nielsen, J. Ø., Gasparri, I., Gou, Y., Hauge, M., Joshi, N., Schaffartzik, A., Sejersen, F., Seto, K. C., & Shugrue, C. (2016). Conceptualizing distal drivers in land use competition. En J. Niewöhner, T. Krueger, J. O. Nielsen, H. Haberl, C. Lauk, J. Lutz, & D. Müller (Eds.). *Land Use Competition Human-Environment Interactions*, pp. 21–40. Springer International Publishing, Switzerland.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-33628-2_2
- Nolte, K., Chamberlain, W., & Giger, M. (2016). *International land deals for agriculture. Fresh insights from the land matrix: Analytical report II*. University of Bern, Switzerland.
<https://doi.org/10.7892/BORIS.85304>
- Ostrom, E. (2009). A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems. *Science*, 325(5939), 419–422.
<https://doi.org/10.1126/science.1172133>
- Piccolo, A., Giorgetti, M., & Chavez, D. (2008). *Zonas AgroEconómicas Homogéneas Salta-Jujuy*. Estudios Económicos y Sociología Rural INTA EEA Salta. Buenos Aires, Argentina.
- Piquer-Rodríguez, M., Butsic, V., Gärtner, P., Macchi, L., Baumann, M., Gavier Pizarro, G., Volante, J. N., Gasparri, I. N., & Kuemmerle, T. (2018). Drivers of agricultural land-use change in the Argentine Pampas and Chaco regions. *Applied Geography* 91, 111–122.
<https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2018.01.004>
- Pratzer, M., Fernández-Llamazares, Á., Meyfroidt, P., Krueger, T., Baumann, M., Garnett, S. T., & Kuemmerle, T. (2023). Agricultural intensification, Indigenous stewardship and land sparing in tropical dry forests. *Nature Sustainability*.
<https://doi.org/10.1038/s41893-023-01073-0>
- Pratzer, M., Maillard, O., Baldi, G., Baumann, M., Burton, J., Fernandez, P., Levers, C., Meyfroidt, P., Tasquer, M., Vallejos, M., & Kuemmerle, T. (2025). Considering land use complexity and overlap is critical for sustainability planning. *One Earth* 8(5), 101247.
<https://doi.org/10.1016/j.oneear.2025.101247>
- Pratzer, M., Meyfroidt, P., Antongiovanni, M., Aragon, R., Baldi, G., Czaplicki Cabezas, S., de la Vega-Leinert, C. A., Dhyani, S., Diepart, J. C., Fernandez, P. D., Garnett, S. T., Gavier Pizarro, G. I., Kalam, T., Koulgi, P., le Polain de Waroux, Y., Marinaro, S., Mastrangelo, M., Mueller, D., Mueller, R., Murali, R., Nanni, S., Nuñez-Regueiro, M., Prieto-Torres D. A., Ratnam, J., Reddy, C. S., Ribeiro, N., Röder, A., Romero-Muñoz, A., Roy, P. S., Rufin, P., Rufino, M., Sankaran, M., Torres, R., Vaidyanathan, S., Vallejos, M., Virah-Sawmy, M., & Kuemmerle, T. (2024). An actor-centered, scalable land system typology for addressing biodiversity loss in the world's tropical dry woodlands. *Global Environmental Change: Human and Policy Dimensions*, 86(102849), 102849.
<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2024.102849>
- Salas Barboza, A. G. J., Cardón Pocoví, J. M., Venencia, C., Huaranca, L. L., Agüero, J. L., Iribarnegaray, M. A., Escosteguy, M., Volante, J. N., & Seghezzo, L. (2019). Ten years of contested enforcement of the Forest Law in Salta, Argentina. The role of land-change science and political ecology. *Journal of Land Use Science*, 15(2–3), 221–234.
<https://doi.org/10.1080/1747423x.2019.1646333>
- Seghezzo, L., Venencia, C., Buliubasich, E. C., Iribarnegaray, M. A., & Volante, J. N. (2017). Participatory, multi-criteria evaluation methods as a means to increase the legitimacy and sustainability of land use planning processes. The case of the Chaco region in Salta, Argentina. *Environmental Management*, 59(2), 307–324.
<https://doi.org/10.1007/s00267-016-0779-y>
- Semper-Pascual, A., Decarre, J., Baumann, M., Busso, J. M., Camino, M., Gómez-Valencia, B., & Kuemmerle, T. (2019). Biodiversity loss in deforestation frontiers: Linking occupancy modelling and physiological stress indicators to understand local extinctions. *Biological Conservation*, 236, 281–288.
<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.05.050>

- Sili, M. E., & Soumoulou, L. (2011). *La problemática de la tierra en Argentina: Conflictos y dinámicas de uso, tenencia y concentración*. Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola (FIDA), Buenos Aires, Argentina.
- Sims, M. J., Stanimirova, R., Raichuk, A., Neumann, M., Richter, J., Follett, F., McCarthy, J., Lister, K., Randle, C., Sloat, L., Esipova, E., Jupiter, J., Stanton, C., Morris, D., Melhart Slay, C., Purves, D., & Harris, N. (2025). Global drivers of forest loss at 1 km resolution. *Environmental Research Letters*, 20(7), 074027. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/add606>
- Slutzky, D. (2007). *Situaciones problemáticas de tenencia de la tierra en Argentina*. Secretaría Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos. PROINDER, Proyecto de Desarrollo de Pequeños Productores Agropecuario.
- Smith, P., Gregory, P. J., van Vuuren, D., Obersteiner, M., Havlík, P., Rounsevell, M., Woods, J., Stehfest, E., & Bellarby, J. (2010). Competition for land. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 365(1554), 2941–2957. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0127>
- Tschopp, M., Ceddia, M. G., Inguaggiato, C., Bardsley, N. O., & Hernández, H. (2020). Understanding the adoption of sustainable silvopastoral practices in Northern Argentina: What is the role of land tenure? *Land Use Policy*, 99(105092), 105092. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.105092>
- Vallejos, M., Álvarez, A., Del Giorgio, O., & Kuemmerle, T. (2025). Impacts of agricultural expansion on the resource availability of forest-dependent Indigenous communities in the Dry Chaco. *Ambio*. <https://doi.org/10.1007/s13280-025-02217-6>
- Vallejos, M., Faingerch, M., Blum, D., & Mastrángelo, M. (2020a). ‘Winners’ and ‘losers’ of the agricultural expansion in the Argentine Dry Chaco. *Landscape Research*, 47(6), 723–734. <https://doi.org/10.1080/01426397.2020.1808965>
- Vallejos, M., Álvarez, A. L., & Paruelo, J. M. (2020b). How are indigenous communities being affected by deforestation and degradation in northern Argentina? In *Preprints*. <https://doi.org/10.20944/preprints202011.0568.v1>
- Vallejos, M., Volante, J. N., Mosciaro, M. J., Vale, L. M., Bustamante, M. L., & Paruelo, J. M. (2015). Transformation dynamics of the natural cover in the Dry Chaco ecoregion: A plot level geo-database from 1976 to 2012. *Journal of Arid Environments*, 123, 3–11. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2014.11.009>
- Venencia, C. D., Correa, J. J., Del Val, V., Buliubasich, C., & Seghezzo, L. (2012). Conflictos de tenencia de la tierra y sustentabilidad del uso del territorio del Chaco salteño. *Energías Renovables y Medio Ambiente*, 30, 29–35.
- Venencia, C. D., Salas Barboza, A. G. J., Agüero, J. L., & Seghezzo, L. (2024). Competencia y potenciales conflictos por el uso del suelo vinculados a las grandes transacciones de tierras en el Chaco salteño. En A. Costantino (Ed.), *Las nuevas dinámicas del acaparamiento de tierras en Argentina: caracterización, alternativas y desafíos* (pp. 14–25). 1ª ed. - Editorial de la Universidad Nacional del Sur – Edius, Buenos Aires, Argentina.
- Venencia, C. D., Agüero, J. L., Salas Barboza, A. G. J., Cardón Pocoví, J. M., Ortega Insaurralde, C., & Seghezzo, L. (2025). Complex relationships between large-scale land acquisitions, deforestation, and land zoning policies in agricultural frontiers. *Land Use Policy*, 157(107690), 107690. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2025.107690>
- Volante, J. N., Mosciaro, M. J., Gavier-Pizarro, G. I., & Paruelo, J. M. (2016). Agricultural expansion in the Semiarid Chaco: Poorly selective contagious advance. *Land Use Policy*, 55, 154–165. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.03.025>
- Yengoh, G. T., Dent, D., Olsson, L., Tengberg, A. E., & Tucker, C. J. (2015a). Applications of NDVI for land degradation assessment. En G. T. Yengoh, L. Olsson, D. Dent, A. E. Tengberg, & C. J. Tucker (Eds.), *Use of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to Assess Land Degradation at Multiple Scales*, pp. 17–25. Springer International Publishing, Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-319-24112-8_3
- Yengoh, G. T., Dent, D., Olsson, L., Tengberg, A. E., & Tucker, C. J. (2015b). Limits to the use of NDVI in land degradation assessment. En G. T. Yengoh, L. Olsson, D. Dent, A. E. Tengberg, & C. J. Tucker (Eds.), *Use of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to Assess Land Degradation at Multiple Scales*, pp. 27–30. Springer International Publishing, Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-319-24112-8_4
- Zepharovich, E., Ceddia, M. G., & Rist, S. (2020). Land-use conflict in the gran Chaco: Finding common ground through use of the Q method. *Sustainability*, 12(18), 7788. <https://doi.org/10.3390/su12187788>

Catalogue of Type Specimens in the MCNS Herbarium, Universidad Nacional de Salta (Argentina)

Catálogo de los Ejemplares Tipo del Herbario MCNS, Universidad Nacional de Salta (Argentina)

Olga G. Martínez  & Marcelo Gerónimo

Herbario MCNS, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Salta, Av. Bolivia 5150 (A4408FVL) Salta, Argentina. herbariomcns@gmail.com, martinezog@gmail.com

Abstract

This article presents a catalogue of the collection of holotypes and isotypes held at the MCNS herbarium of the Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Salta, Argentina. The collection includes 17 holotypes and 12 isotypes, corresponding to four families of ferns (Cyatheaceae, Dryopteridaceae, Polypodiaceae, and Pteridaceae) and 15 families of angiosperms (Amaryllidaceae, Apiaceae, Asteraceae, Bignoniaceae, Brassicaceae, Bromeliaceae, Crassulaceae, Fabaceae, Francoaceae, Juncaceae, Malvaceae, Meliaceae, Rubiaceae, Salicaceae, and Solanaceae). For each specimen, the collection number of the herbarium, collection data and bibliographic reference in which it was cited as nomenclatural type are provided; four digitized images of type specimens are also included.

Key words: Botanical Collection; Botanical Nomenclature; Holotype; Isotype.

Resumen

Se presenta un catálogo de la colección de los holotipos e isotipos preservados en el herbario MCNS de la Facultad de Ciencias Naturales (Universidad Nacional de Salta, Argentina). La colección comprende 17 holotipos y 12 isotipos correspondientes a cuatro familias de helechos (Cyatheaceae, Dryopteridaceae, Polypodiaceae, y Pteridaceae) y 15 familias de angiospermas (Amaryllidaceae, Apiaceae, Asteraceae, Bignoniaceae, Brassicaceae, Bromeliaceae, Crassulaceae, Fabaceae, Francoaceae, Juncaceae, Malvaceae, Meliaceae, Rubiaceae, Salicaceae, y Solanaceae). Para cada ejemplar se incluye el número de colección del herbario, datos de colección y la publicación donde fue citado como tipo nomenclatural; además, se ilustra con cuatro imágenes digitalizadas de ejemplares tipo.

Palabras clave: Colección Botánica; Holotipo; Isotipo; Nomenclatura Botánica.

Martínez, O. G., & Gerónimo M. (2025). Catalogue of Type Specimens in the MCNS Herbarium, Universidad Nacional de Salta (Argentina) *Revista Ciencias Naturales* 3(2), 107-118. <https://id.caicyt.gov.ar/ark:/s29535441/y0ev5c0to>

Recibido: 14/09/2025

Aceptado: 15/12/2025

Publicado: 18/12/2025

Editor: Ricardo Alonso



INTRODUCTION

The collection of the MCNS Herbarium of the Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Salta, Argentina, began in 1975 (Novara, 1991). Initially, that collection was deposited at the Natural Sciences Museum of Salta, and was assigned the acronym MCNS (Holmgren *et al.*, 1990). At present, the herbarium is located on the premises of the university campus.

The collection includes about 50,000 specimens from diverse regions of Salta province and nearby areas. Most of the specimens came from the contribution of regional floristic studies, as well as from exchanges and donations. In the last years, the collection was enhanced mostly by research work on different fields, including biogeographical, ethnobotanical, molecular, chemical, taxonomic, and toxicological studies.

Herbarium specimens are the only direct documented evidence of the flora of a region (Pandey & Kasana, 2021) and an inexhaustible source for botanical research, including anatomical, morphological, palynological (Espeche *et al.*, 2020), and chemical studies (Peñuelas & Matamala, 1993). Herbaria also provide evidence to evaluate the historical distribution of plants (Davis 2023).

A vast number of institutions disseminate digitized images of type specimens through the platform JSTOR Global Plants (<https://plants.jstor.org/>), or provide data through catalogues, such as Lira *et al.* (1996), Ocampo Acosta & Medellín Villamil (2004), Fernández-Fernández *et al.* (2015), and Peña Tamayo & Jaramillo Díaz (2019).

The aim of this contribution is to disseminate information about the type, holotype and isotype specimens deposited at the collection of the MCNS herbarium.

MATERIALS AND METHODS

This work is based on the review of type specimens, of which only holotypes and isotypes were selected. Specimens are organized in

separate shelves and digitized to facilitate future online consultation. There is a printed copy of the protologue for each individual.

A catalogue with nomenclatural types is presented in alphabetical order of families, genera and species. For each specimen, the following data are provided: published scientific name; original reference (Ref.); category of the type and record number in the general herbarium; and collection data (province, department and locality, height above sea level, collection date, collector name, and collection number).

Specimens were digitized with a Canon EOS M200 camera.

RESULTS

The MCNS herbarium holds 29 types, 17 holotypes and 12 isotypes, belonging to four families of ferns (21 %) and 15 families of angiosperms (79 %) (Fig. 1A).

The holotypes correspond to four fern families: Cyatheaceae, Dryopteridaceae, Polypodiaceae, and Pteridaceae, and seven families of angiosperms: Apiaceae, Asteraceae, Bromeliaceae, Crassulaceae, Francoaceae, Juncaceae, and Rubiaceae (Fig. 1B). The isotypes correspond to 11 families of angiosperms: Amaryllidaceae, Asteraceae, Bignoniaceae, Brassicaceae, Bromeliaceae, Fabaceae, Juncaceae, Malvaceae, Meliaceae, Salicaceae and Solanaceae (Fig. 1C).

Most of the families have a single nomenclatural type and three families have holotypes and isotypes: Asteraceae, Bromeliaceae and Juncaceae.

Catalogue of type specimens

1. Ferns

* Cyatheaceae

Alsophila elata O. G. Martínez in Brittonia 67: 49. 2015.

Type: Holotype MCNS 12732.

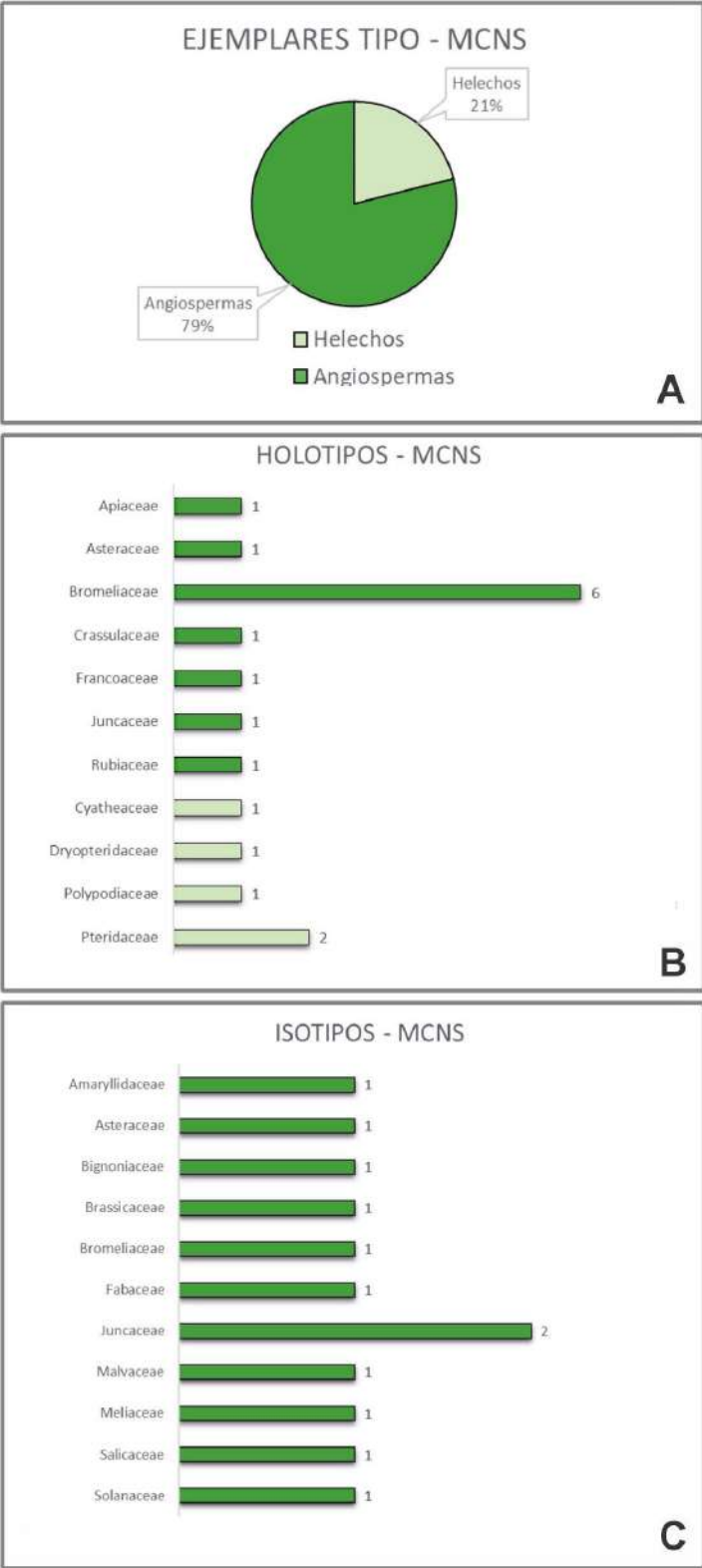


Figure 1. Type specimens housed in the MCNS Herbarium. **A.** Percentage of ferns (light green) and angiosperms (dark green). **B.** Families represented by holotypes and number of species per family. **C.** Families represented by isotypes and number of species per family.

Collection data: Argentina. Salta: Dpto. Orán, Río Blanquito, S 22°34'20" W 64°40'21", 1000 m s.n.m. 7-XII-2011. Martínez O., Chambi J. & Guaymás H. 2294.

Ref.: Martínez O. G. (2015). A new species of *Alsophila* (Cyatheaceae) from the Tucuman-Bolivian forest. *Brittonia* 67(1), 48-55. <https://doi.org/10.1007/s12228-014-9355-z>

* Dryopteridaceae

***Polystichum lionelii* O.G. Martínez & M.A. Hern.** in *Phytotaxa* 619: 190. 2023.

Type: Holotype MCNS 13664.

Collection data: Argentina. Salta: Dpto. Santa Victoria, Nazareno, Paraje Mono Abra, 3700 m s.n.m. 28-III-2020. Serapio F. 120.

Ref.: Martínez O. G., Hernández M. A., & Serapio, F. (2023). *Polystichum lionelii* (Dryopteridaceae), a new Andean species from northwestern Argentina. *Phytotaxa* 619(2), 189-196. <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.619.2.7>

* Polypodiaceae

***Pecluma barituensis* O. G. Martínez & de la Sota** in *Novon* 17: 43. 2007.

Type: Holotype MCNS 14000.

Collection data: Argentina. Prov. Salta: Dpto. Santa Victoria, Parque Nacional Baritú, 1500 m s.n.m. 14-VII-1999. Martínez O. G. & de la Sota E. R. 693.

Ref.: Martínez, O. G., & de la Sota, E. R. (2007). A new species of *Pecluma* (Pteridophyta-Polypodiaceae). *Novon*, 17 (1), 43-45. [https://doi.org/10.3417/1055-3177\(2007\)17\[43,ANSOPP\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.3417/1055-3177(2007)17[43,ANSOPP]2.0.CO;2)

* Pteridaceae

***Pteris exigua* O. G. Martínez & J. Prado** in *Brittonia* 63: 295. 2011.

Type: Holotype MCNS 14001.

Collection data: Argentina. Jujuy: Dpto. Ledesma, Parque Nacional Calilegua, RP

83, sendero Bosque del Cielo, S 23°40.1' W 64°54.0', 1700 m s.n.m. 4-VII-2010. Martínez O. G. & Prado J. 1895.

Ref.: Martínez, O.G., & Prado J. (2011). *Pteris exigua* (Pteridaceae), a new endemic species from tucumano-boliviano forests in Northwestern Argentina. *Brittonia* 63(2), 295-299. <https://doi.org/10.1007/s12228-010-9166-9>

***Pteris sotae* O. Martínez** in *Phytotaxa* 267: 291. 2016.

Type: Holotype MCNS 13999.

Collection data: Argentina. Salta: Dpto. Orán, Río Blanquito, a 200 m del pueblo, 950 m s.n.m. 20-IX-2014. Martínez O. G., Jarsún A., Chambi J. & Suárez C. 3876.

Ref.: Martínez O. G. (2016). *Pteris sotae* (Pteridaceae), a new endemic species from the flora argentina. *Phytotaxa* 267 (4), 291-295. <http://dx.doi.org/10.11646/phytotaxa.267.4.6>

2. Angiosperms

* Amarillydaceae

***Habranthus quilmesianus* Ravenna** in *Onira* 1(8): 54. 1988.

Type: Isotype MCNS 14021.

Collection data: Argentina. Salta: Dpto. Chicoana, pie de la Cuesta del Obispo, al borde de la ruta y de campos alambrados, ca. 2000 m s.n.m. 31-X-1980. Novara L. J. & Hoy G. 1422.

Ref.: Ravenna, P. F. (1988). New species of South American *Habranthus* and *Zephyranthes* (Amaryllidaceae). *Onira* 1, 53-56.

* Apiaceae

***Eryngium incantatum* Lucena, Novara & Cuezco** in *Aportes Botánicos de Salta, serie Misceláneas* 1(9): 3. 2001.

Type: Holotype MCNS 14004.

Collection data: Argentina. Salta: Dpto. Chicoana, Valle Encantado, 3000-3200 m s.n.m. 13-III-1985. Novara L. J. 4451.



Figure 2. Holotype of *Vernonia novarae* Cabrera (MCNS 14002). Credit: B. Rodríguez.

Ref.: Lucena, I. D., Novara, L. J., & Cuezco, A. R.(h). 2001. Una nueva especie de *Eryngium* L. (Apiaceae, sect. Ebracteata Wolff) para la Argentina. *Aportes Botánicos de Salta, serie Misceláneas* 1(9), 1-8.

* Asteraceae

***Baccharis cabreræ* Ariza** in Kurtziana 7: 187. 1973.

Type: Isotype MCNS 14018.

Collection data: Argentina. Salta: Dpto. Cafayate, Cuesta del Alisal, Cerro del Cajón. 8-I-1914. Rodríguez R. 1276.

Ref.: Ariza Espinar, L. (1973) Novedades sobre *Baccharis* (Compositae) de Argentina III. *Kurtziana* 7, 187-193.

***Vernonia novaræ* Cabrera** in Hickenia 2(54): 255. 1997.

Type: Holotype MCNS 14002. (Fig. 2)

Collection data: Argentina. Salta: Dpto. Santa Victoria, Parque Nacional Baritú, faldeo al E de la Sierra del Porongal, entre Quebrada La Gateada y Quebrada Seca, 1400-1800 m s.n.m. 20-IX-1990. Novara L. J. 9993.

Ref.: Cabrera, A. L. (1997). Una nueva especie de *Vernonia* (Compositae) del este de Salta, Argentina. *Hickenia* 2, 255-256.

* Bromeliaceae

***Puya novaræ* G.S. Varad. ex Gómez Rom. & A. Grau** in Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica 44(1-2): 189. 2009.

Type: Isotype MCNS 14026.

Collection data: Argentina. Salta: Dpto. Santa Victoria, from 30 km SW of Santa Victoria, aprox. S 22°10' W 65°07', 2600-4050 m s.n.m. 13-V-1987. Varadarajan G. S. 1477.

Ref.: Gómez, S. E., & Grau, A. (2009). Las especies de *Puya* (Bromeliaceae) en la Argentina. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 44(1-2), 175-208.

***Tillandsia colorata* f. *flavescens* L. Hrom.** in Die Bromelie 1: 21. 2009.

Type: Holotype MCNS 14012.

Collection data: Argentina. Salta: Dpto. Cafayate, Quebrada Colorada, 1700 m s.n.m. 26-VII-1981. Hromadnik H. 7202.

Ref.: Hromadnik, L. (2009). *Tillandsia colorata* - eine neue, kleine *Tillandsia* aus der Verwandtschaft von *Tillandsia* argentina. *Die Bromelie*, 2009(1), 17-24.

***Tillandsia colorata* L. Hrom.** in Die Bromelie 1: 20. 2009.

Type: Holotype MCNS 14011.

Collection data: Argentina. Salta: Dpto. Cafayate, Quebrada Colorada, 1700 m s.n.m. 26-VII-1981. Hromadnik H. 7201.

Ref.: Hromadnik, L. (2009). *Tillandsia colorata* - eine neue, kleine *Tillandsia* aus der Verwandtschaft von *Tillandsia* argentina. *Die Bromelie*, 2009(1), 17-24.

***Tillandsia guasamayensis* Palací & Gilmartin** in Systematic Botany 14(2): 152, 1989.

Type: Holotype MCNS 14010.

Collection data: Argentina. Jujuy: Dpto. Tilcara, Garganta del Diablo, saxicolous on rocky outcrops at river Guasamayo, 2800 m s.n.m. 15-X-1986. Palací C. 777.

Ref.: Palací C. A., & Gilmartin, A. J. (1989) A New Species of *Tillandsia* (Bromeliaceae) from Northwest Argentina. *Systematic Botany* 14(2), 152-154. <https://doi.org/10.2307/2418902>

***Tillandsia markusii* L. Hrom.** in Die Bromelie 2002(3): 67.

Type: Holotype MCNS 14007.

Collection data: Argentina. Salta: Dpto. Molinos, prope pagum Brealito, 2700 m s.n.m. 23-VII-1981. Hromadnik H. 7156.



Figure 3. Holotype of *Luzula castellanosii* Barros (MCNS 14006). Credit: B. Rodríguez.

Ref.: Hromadnik, L. (2002). *Tillandsia markusii* L. Hromadnik, spec. nov. *Die Bromelie* 2002(3), 67-70.

***Tillandsia rosarioae* L. Hrom.** in *Die Bromelie* 2: 50. 2005.

Type: Holotype MCNS 14013.

Collection data: Argentina. Salta: Dpto. Cafayate, in montibus septentrionaliter-occidentalibus vallis, Quebrada de las Conchas, 1900 m s.n.m. 1983. Rausch W. s.n.

Ref.: Hromadnik, L. (2005). Eine neue kleine *Tillandsia* aus Argentinien, *Tillandsia rosarioae*. *Die Bromelie* 2005(1), 49-51.

***Tillandsia zecheri* var. *cafayatensis* Palací & G. K. Br.** in *Journal of the Bromeliad Society* 44: 113. 1994.

Type: Holotype MCNS 14008.

Collection data: Argentina. Salta: Dpto. Guachipas, Garganta del Diablo, 1500 m s.n.m. 4-IV-1986. Palací C. 534.

Ref.: Palací, C. A., & Brown, G. K. (1994). The *Tillandsia zecheri* complex and a new infraspecific taxa from northwestern Argentina. *Journal of the Bromeliad Society*, 44, 107-116.

* Bignoniaceae

***Handroanthus ochraceus* (Cham.) Mattos var. *aguaraguensis* Zapater & Califano** in *Darwiniana*, n. s. 47(1): 204. 2009.

Type: Isotype MCNS 14022.

Collection data: Argentina. Salta: Dpto. San Martín, Campo Blanco, sobre RN 34, S 22°09'12.8" W 63°42'43.9". 21-IX-2004. Zapater M. A. & Califano L. M. 2448.

Ref.: Zapater, M. A., Califano, L. M., Del Castillo, E. M., Quiroga, M. A., & Lozano, E. C. (2009). Las especies nativas y exóticas de *Tabebuia* y *Handroanthus* (Tecomeae, Bignoniaceae) en Argentina. *Darwiniana, nueva serie*, 47(1), 185-220. <https://doi.org/10.14522/darwiniana.2014.471.281>

* Brassicaceae

***Mostacillastrum saltaensis* Al-Shehbaz** in *Harvard Papers in Botany* 17(1): 6. 2012.

Type: Isotype MCNS 14029.

Collection data: Argentina. Salta: Dpto. Rosario de Lerma, Quebrada del Toro, RN 51 km 45, pasando 2 km El Candado. 19/22-II-2003. Novara L. J. 11922.

Ref.: Al-Shehbaz, I. A. (2012). Notes on miscellaneous species of the Tribe Thelypodieae (Brassicaceae). *Harvard Papers in Botany*, 17(1), 1043-4534.

* Crassulaceae

***Echeveria saltensis* Pino, W. Ale & D. Marquiegui** in *Cactus and Succulent Journal* 91(3): 190. 2019.

Type: Holotype MCNS 13545.

Collection data: Argentina. Salta: Dpto. Guachipas, Alemania, on slate outcrops associated to banks of *Deuterocohnia* sp., S 25°39'58.0" W 65°36'29.3", 1264 m s.n.m. 01-III-2019, Ale W. & Marquiegui D. 1.

Ref.: Pino, G., Kiesling, R., Ale, W., & Marquiegui, D. (2019). Succulent endemic Crassulaceae from Argentina including three new taxa. *Cactus and Succulent Journal* 91(3), 182-197. <https://doi.org/10.2985/015.091.0303>

* Fabaceae

***Erythrina crista-galli* L. var. *longiflora* Zapater & Lozano** in *Darwiniana*, n. s. 48(2): 185. 2010.

Type: Isotype MCNS 14020.

Collection data: Argentina. Salta: Dpto. Gral. Güemes, RN 9 en autopista de acceso a Salta, al frente de Usina Termo Andes. 10-V-2008. Zapater M. A. & Lozano E. C. 2748.

Ref.: Lozano, E. C., & Zapater, M. A. (2010). El género *Erythrina* (Leguminosae) en Argentina. *Darwiniana, nueva serie*



Figure 4. Isotype of *Cedrela saltensis* Zapater & del Castillo (MCNS 14019). Credit: B. Rodríguez.

48(2), 179-200. <https://doi.org/10.14522/darwiniana.2014.482.18>

* Francoaceae

***Balbisia miniata* var. *anomala* Ariza & Novara** in Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica 38: 345. 2003.

Type: Holotype MCNS 14005.

Collection data: Argentina. Salta: Dpto. Rosario de Lerma, Quebrada del Toro, RN 51 km 45, pasando 2 km El Candado, pasando el 2° puente carretero sobre el río, 300-800 m al E del camino y vías del tren, S 24°47'13" W 65°43'30", 2300 m s.n.m. 27-I-2003. Novara L. 11916.

Ref.: Novara, L. J., & Ariza Espinar, L. (2003). Una nueva variedad de *Balbisia miniata* (Ledocarpaceae) de Argentina. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 38 (3-4), 345-347.

* Juncaceae

***Luzula castellanosi* Barros** in Darwiniana 10(3): 349. 1953.

Type: Holotype MCNS 14006. (Fig. 3)

Collection data: Argentina. Salta: Dpto. Cafayate, Sierra de los Quilmes. 26-I-1943. Castellanos A. 4069.

Ref.: Barros, M. (1953) Las Juncáceas de Argentina, Chile y Uruguay. *Darwiniana* 10(3), 279-460.

***Oxychloe haumaniana* (Barros) Barros** in Darwiniana 10: 303. 1953.

Type: Isotype MCNS 14023.

Collection data: Argentina. San Juan: Dpto. Iglesia, Ciénegas de los orígenes del valle del río Cura a 3900 m s.n.m. 16-II-1950. Castellanos A. s. n. (LIL 16136).

Ref.: Barros, M. (1953) Las Juncáceas de Argentina, Chile y Uruguay. *Darwiniana* 10(3), 279-460.

***Oxychloe simulans* Barros** in Darwiniana 10: 301. 1953.

Type: Isotype MCNS 14024.

Collection data: Argentina. La Rioja: Dpto. Chilecito, Los Sarmiento, Cordillera de los Andes, El Zanjón, 3700 m s.n.m. 6-II-1949. Krapovickas A. & Hunziker J. H. 5817.

Ref.: Barros, M. (1953) Las Juncáceas

de Argentina, Chile y Uruguay. *Darwiniana* 10(3), 279-460.

* Malvaceae

***Sida cabreriana* Krapov.** in Bonplandia 15(1-2): 10. 2006.

Type: Isotype MCNS 14027.

Collection data: Argentina. Jujuy: Dpto. Palpalá, Cuesta de las Lajitas. 13-V-1998. Krapovickas A., Schinini A. & Seijo G. 47394.

Ref.: Krapovickas, A. (2006). Las especies argentinas y de países vecinos de *Sida* Secc. Nelavaga (Malvaceae, Malveae). *Bonplandia* 15(1-2), 5-45.

* Meliaceae

***Cedrela saltensis* Zapater & del Castillo** in Darwiniana, n. s. 42 (1-4): 348. 2004.

Type: Isotype MCNS 14019. (Fig. 4)

Collection data: Argentina. Salta: Dpto. Orán: La Maroma, Finca San Andrés. 22-XII-1999. Zapater M. A. & del Castillo E. M. 2348.

Ref.: Zapater, M. A., del Castillo, E. M., & Pennington, T. D. (2004). El género *Cedrela* (Meliaceae) en la Argentina. *Darwiniana, nueva serie* 42(1-4), 347-356. <https://doi.org/10.14522/darwiniana.2014.421-4.199>

* Salicaceae

***Xilosma longipetiolata* Legname** in Lilloa 33: 336-338. 1973.

Type: Isotype MCNS 14028.



Figure 5. Isotype of *Physalis pruinosa* var. *argentina* J.M. Toledo & Barboza (MCNS 14025). Credit: B. Rodríguez.

Collection data: Argentina. Salta: Dpto. Santa Victoria, camino de Toldos a Lipeo a más o menos 15 km de Toldos, 1600 m s.n.m. 18-VII-1971. Vervoorst F. B. & Legname P. 5403.

Ref.: Legname, P. R. (1973). Especies interesantes encontradas en el norte de Argentina. *Lilloa* 33: 327-340

* Solanaceae

***Physalis pruinosa* var. *argentina* J.M. Toledo & Barboza** in *Kurtziana* 31(1-2): 73. 2005.

Type: Isotype MCNS 14025. (Fig. 5)

Collection data: Argentina. Tucumán: Dpto. Granero, Cerca de Taco Ralo, viniendo desde La Cocha al costado del camino. 1-IV-1977. Hunziker J. H. 23083.

Ref.: Toledo, J. M., & Barboza, G. E. (2005). Novedades en *Physalis* (Solanaceae). *Kurtziana* 31(1-2), 69-85.

* Rubiaceae

***Galianthe bisepala* E.L. Cabral** in *Bonplandia* 7(1-4): 4. 1993.

Type: Holotype MCNS 14003.

Collection data: Argentina. Salta: Dpto. La Viña, Quebrada de las Conchas, entre la Salamanca y el Hongo, RN 68 km 77-78, 1300 m s.n.m. 10-III-1990. Novara L. J. & Bruno S. 9630.

Ref.: Cabral, E. L. (1993). Novedades en *Galianthe* (Rubiaceae). *Bonplandia* 7, 4-7.

CONCLUSIONS

The 29 nomenclatural types of the MCNS Herbarium come mainly from the north-west region of Argentina, especially Salta, Jujuy and Tucumán provinces, and some of them from La Rioja and San Juan. The best represented families are Bromeliaceae (six holotypes and one isotype) and Juncaceae (one holotype and two isotypes). These specimens, along with the rest of the collection, have a great scientific potential and contribute to the enrichment of the institutional heritage.

ACKNOWLEDGEMENTS

We thank researchers and students that contributed their collections, Bruno Rodríguez for digitalizing the specimens, and the authorities of the Facultad de Ciencias Naturales of Universidad Nacional de Salta for financing the maintenance of the collection.

REFERENCES

- Davis, C. C. (2023). The herbarium of the future. *Trends in Ecology and Evolution*, 8(5), 412-423.
- Espeche, M., García, M., & Reyes, N. (2020). Estudio palinológico preliminar en especies de *Erythrina* (Fabaceae) presentes en Argentina. *Lilloa*, 57(2), 144-155. <https://doi.org/10.30550/j.lil/2020.57.2/5>
- Fernández-Fernández, D., Freire M. E., Peñafiel C. M., Romero, G., Tello, F., & Toapanta, E. (2015). Catálogo de especímenes tipo del Herbario Nacional del Ecuador (QCNE), Museo Ecuatoriano de Ciencias Naturales. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 7(1), 39-87. <https://doi.org/10.18272/aci.v7i1.227>
- Holmgren, P. K., Holmgren, N. H., & Barnett, L. C. (1990). Index Herbariorum. Part I, The Herbaria of the World. *Regnum Vegetabile*, Vol. 120, 8th edition. International Association for Plant Taxonomy. New York Botanical Gardens. <http://rs.tdwg.org/ih/doc/book/>
- Lira, R., García, M. R., & Villaseñor, J. L. (1996). Catálogo de ejemplares tipo del Herbario Nacional de México (MEXU). III. Compositae. *Anales del Instituto de Biología, serie Botánica*. 67(2), 385-417.
- Novara, L. J. (1991) Introducción. Flora del Valle de Lerma. *Aportes Botánicos de Salta, serie Flora*, 181, 1-15.
- Ocampo Acosta, G., & Medellín Villamil, A. L. (2004). Catálogo de ejemplares tipo del herbario IEB (México). *Acta Botánica Mexicana*, 41(67), 1-41. <https://doi.org/10.21829/abm67.2004.971>
- Peña Tamayo, J. E., & Jaramillo Díaz, N. (2019) Catálogo de especímenes tipo del Herbario Reinaldo Espinosa (LOJA), Univ. Nac. de Loja. *Bosques Latitud cero*, 9 (2), 1-19.
- Pandey, A. K., & Kasana, S. (2021). Plant Systematics, 1er. ed. CRC Press. 340 pp. <https://doi.org/10.1201/9781003183464>
- Peñuelas, J., & Matamala, R. (1993). Variations in the mineral composition of herbarium plant species collected during the last three centuries. *Journal of Experimental Botany*, 44(9), 1523-1525. <https://doi.org/10.1093/jxb/44.9.1523>

Eficiencia de las Plantas Potabilizadoras del Norte de Salta (Argentina) Efficiency of the Water Treatment Plants in Northern Salta (Argentina)

Florencia S. Alvarez Dalinger^{1,2*}, Lucia V. Laureano^{1,2}, Claudia N. Borja¹, Verónica L. Lozano^{1,2}, Liliana B. Moraña¹

1. Laboratorio de Calidad de Aguas. Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Salta, Av. Bolivia 5150. (A4408FVL) Salta, Argentina. floralvarezdalinger0@gmail.com

2. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Salta, Av. Bolivia 5150 (A4408FVL) Salta. Argentina

Resumen

El Departamento General San Martín, en el norte de Salta (Argentina), posee más de 178.000 habitantes. Sus principales fuentes de agua son dos embalses, pozos subterráneos y puntos de extracción en los ríos Tartagal y Bermejo. El estudio evaluó el estado y la eficiencia de tratamiento de parámetros físicos, químicos y biológicos en las plantas potabilizadoras de Itiyuro, Embarcación y Tartagal, entre junio de 2018 y enero de 2020, mediante muestreos mensuales en ingresos y salidas. Los parámetros físicos y químicos se analizaron según normas APHA (American Public Health Association) y el fitoplancton mediante la técnica de Utermöhl. La reducción se calculó considerando turbidez, color y demanda química de oxígeno (DQO). La turbidez y el color superaron los límites del Código Alimentario Argentino en las muestras de salida. Aunque en algunos casos se logró más del 90% de reducción de turbidez, no fue suficiente. La DQO mostró una reducción máxima del 48% solo en Itiyuro, y menor en las otras PP. En los parámetros biológicos, la eficiencia fue baja: ninguna PP redujo más del 50% del fitoplancton total. Los resultados indican que los tratamientos actuales no garantizan agua segura. La persistencia de turbidez y la presencia de cianobacterias potencialmente productoras de cianotoxinas implican un riesgo sanitario a mediano y largo plazo.

Palabras clave: Agua segura; Potabilización; Fitoplancton, Itiyuro.

Abstract

The General San Martín Department, in northern Salta (Argentina), has a population of over 178,000 inhabitants. Its main water sources are two reservoirs, groundwater wells, and extraction points along the Tartagal and Bermejo rivers. This study evaluated the condition and treatment efficiency of physical, chemical, and biological parameters in the Itiyuro, Embarcación, and Tartagal water treatment plants between June 2018 and January 2020, through monthly sampling at plant inlets and outlets. Physical and chemical parameters were analyzed according to American Public Health Association (APHA), standards, and phytoplankton counts were performed using the Utermöhl technique. Treatment efficiency was calculated based on turbidity, color, and chemical oxygen demand (COD). Turbidity and color exceeded the limits established by the Argentine Food Code in outlet samples. Although turbidity removal occasionally exceeded 90%, it was still insufficient. COD reduction only reached a maximum of 48% at Itiyuro and was lower at the other WTPs. Biological treatment efficiency was low: none of the plants reduced total phytoplankton by more than 50%. These results suggest that the current treatment processes do not ensure the production of safe drinking water. The persistence of turbidity, which is associated with potential biological contaminants, as well as the presence of cyanobacteria that can produce cyanotoxins, pose a significant health risk in the medium and long term.

Keywords: Safe water; Water treatment; Phytoplankton, Itiyuro.

Alvarez, F., Laureano, L. V., Borja, C. N., Lozano, V., & Moraña, L. (2025). Eficiencia de las Plantas Potabilizadoras del Norte de Salta (Argentina). *Revista Ciencias Naturales*, 3(2), 119–130. <https://id.caicyt.gov.ar/ark:/s29535441/g33516xjq>

INTRODUCCIÓN

La contaminación del agua destinada a consumo humano representa una de las principales amenazas a la salud pública y puede incluso restringir el abastecimiento (WHO, 2022). El Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD, 2019) reconoce la significativa influencia de la calidad del agua en la salud y el desarrollo de una población. Asegurar la calidad del agua no solo contribuye a prevenir enfermedades, sino también a evitar la propagación de agentes patógenos.

La expansión urbanística, agroganadera e industrialización, entre otros factores, incrementan la probabilidad de contaminación de las fuentes utilizadas para el abastecimiento de la población, ya sean ríos, embalses, aguas subterráneas, entre otros (Water, 2020). Ante esta situación, se hace necesario implementar métodos adicionales para tratar el agua. La eficacia de una planta potabilizadora de agua está directamente vinculada al cumplimiento de las normativas que regulan la calidad del agua suministrada, sin importar las variaciones en la calidad del agua de la fuente (Hartshorn *et al.*, 2015).

Numerosos parámetros físicos, químicos y biológicos pueden utilizarse para evaluar la eficiencia de tratamiento de una planta potabilizadora. Dentro de los procedimientos físicos y químicos, uno de los más utilizados es la turbidez (Milojkovic *et al.*, 2009). La turbidez se relaciona con la presencia de sustancias coloidales, minerales u orgánicas en el agua, lo que la convierte en un posible indicador de contaminación (WHO, 2008). Elevados niveles de turbidez pueden brindar cierta protección a microorganismos contra los efectos de la desinfección, fomentar la proliferación de bacterias y aumentar la demanda de cloro lo que se traduce en mayores costos (Martínez Orjuela *et al.*, 2020). Por lo anterior, valores elevados de turbidez en el agua representan un riesgo microbiológico para la salud humana y se recomienda incluirla en las determinaciones básicas de mayor frecuencia para el monitoreo de la

calidad del agua suministrada a la población (WHO, 2008).

Otros parámetros que son comúnmente utilizados para evaluar la cantidad de materia orgánica en el agua son el color y la demanda química de oxígeno (DQO). El color en el agua, puede estar asociado a sustancias en solución o a sustancias en suspensión. La DQO es una medida del oxígeno requerido para oxidar todos los compuestos presentes en una muestra, tanto orgánicos como inorgánicos, por la acción de agentes fuertemente oxidantes en medio ácido y se expresa en mg O₂/L. Al igual que con la turbidez, concentraciones elevadas de DQO o de color pueden indicar cantidades considerables de materia orgánica, que a su vez puede deteriorar considerablemente las propiedades organolépticas, ocasionando un riesgo adicional para el consumidor por la potencial formación de subproductos de desinfección, durante la etapa de adición de cloro (Rodríguez *et al.*, 2007; Sánchez, 2008).

En las últimas décadas, la proliferación de algas y cianobacterias en cuerpos de agua que se utilizan como suministro de agua es otra de las amenazas relacionada a la eutrofización de los sistemas producto del aumento en el uso de fertilizantes en la actividad agropecuaria y al cambio climático (Giannuzzi *et al.*, 2011). En general, la mayoría de las plantas potabilizadoras no cuentan con sistemas de remoción de algas o cianobacterias, y esto se asocia probablemente a que estos parámetros no fueron foco en las décadas anteriores para evaluar la capacidad de remoción de estas. Una de las posibles consecuencias del crecimiento de cianobacterias es la producción y liberación de cianotoxinas en el agua, las cuales son resistentes a los tratamientos convencionales de potabilización por lo que pueden permanecer y llegar a los consumidores mediante los sistemas de distribución (Fernández *et al.*, 2005; Merel *et al.*, 2013). Los efectos del consumo agudo y/o crónico de agua contaminada con cianotoxinas podrán ser dermatológicos, neurotóxicos, gastrointestinales y a largo plazo cancerígenos, siendo promotoras de tumores (García, 2009; Sedan *et al.*, 2017).

El objetivo de este trabajo fue evaluar la eficiencia de tratamiento de las principales plantas potabilizadoras de agua del Depto. San Martín, considerando para ello los parámetros turbidez, color verdadero, DQO, abundancia de cianobacterias, diatomeas, clorófitas y abundancia total del fitoplancton.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El Departamento General San Martín se ubica al norte de la provincia de Salta, limitando al norte y al oeste con Bolivia, al este con el Departamento de Rivadavia, y al sur con el de Orán. Con una población de 178.367 habitantes según el último censo nacional (INDEC, 2022), es el segundo departamento de la provincia con mayor población. Las principales fuentes de extracción de agua para potabilización en el departamento corresponden a los embalses Itiyuro y El Limón, fuentes superficiales en el río Tartagal y Bermejo, y numerosos pozos de agua distribuidos en el departamento. El agua extraída se trata principalmente en 3 plantas potabilizadoras (PP) ubicadas en las localidades de Aguaray (Paraje Itiyuro), Tartagal y Embarcación (Figs. 1 y 2).

La planta potabilizadora Itiyuro ubicada en Aguaray tiene un caudal de ingreso de 1.100 m³/h, la planta Tartagal 800 m³/h, y la planta Embarcación 200 m³/h. Estas plantas cuentan con sistemas tradicionales de potabilización que incluyen la aplicación de carbón activado, sulfato de aluminio diluido, procesos floculadores, cámaras decantadoras, sedimentadores y filtros de cloración. Solo la planta Itiyuro cuenta desde hace pocos años con un módulo de tratamiento de algas: el agua proveniente de los sedimentadores ingresa a una pre cámara donde se adiciona polielectrolito a fin de realizar una floculación en la etapa de flotación. El sobrenadante que se forma en la superficie producto del proceso de flotación (nata que contiene las algas y cianobacterias) es eliminado mediante barrido por aireación.

Muestreo

Se realizaron muestreos mensuales en las PP Itiyuro, Tartagal y Embarcación entre junio de 2018 y enero de 2020, considerando entrada (muestra en el ingreso sin tratamiento previo) y salida (muestra post tratamiento de potabilización) de cada planta. Las muestras para análisis físicos y químicos se tomaron en frascos de 500 mL y se mantuvieron

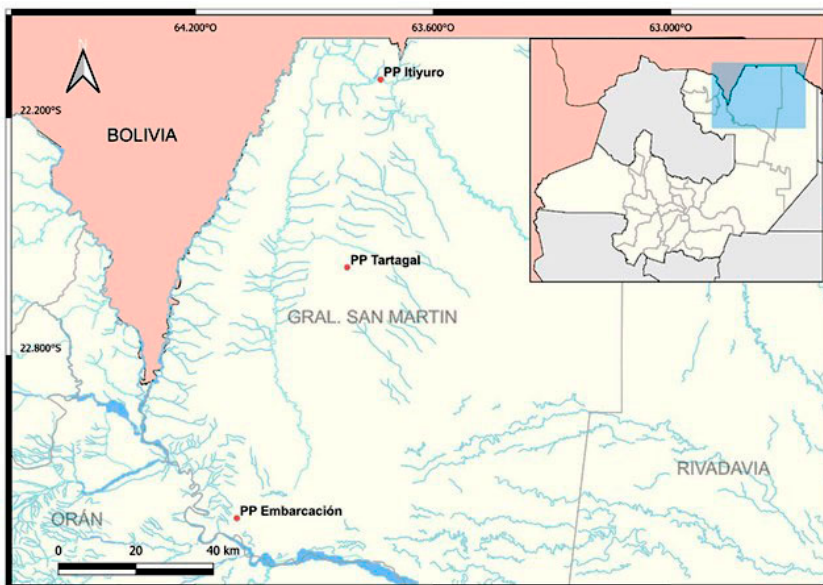


Figura 1. Ubicación de las tres plantas potabilizadoras (PP) estudiadas: Itiyuro, Tartagal y Embarcación, en la provincia de Salta.

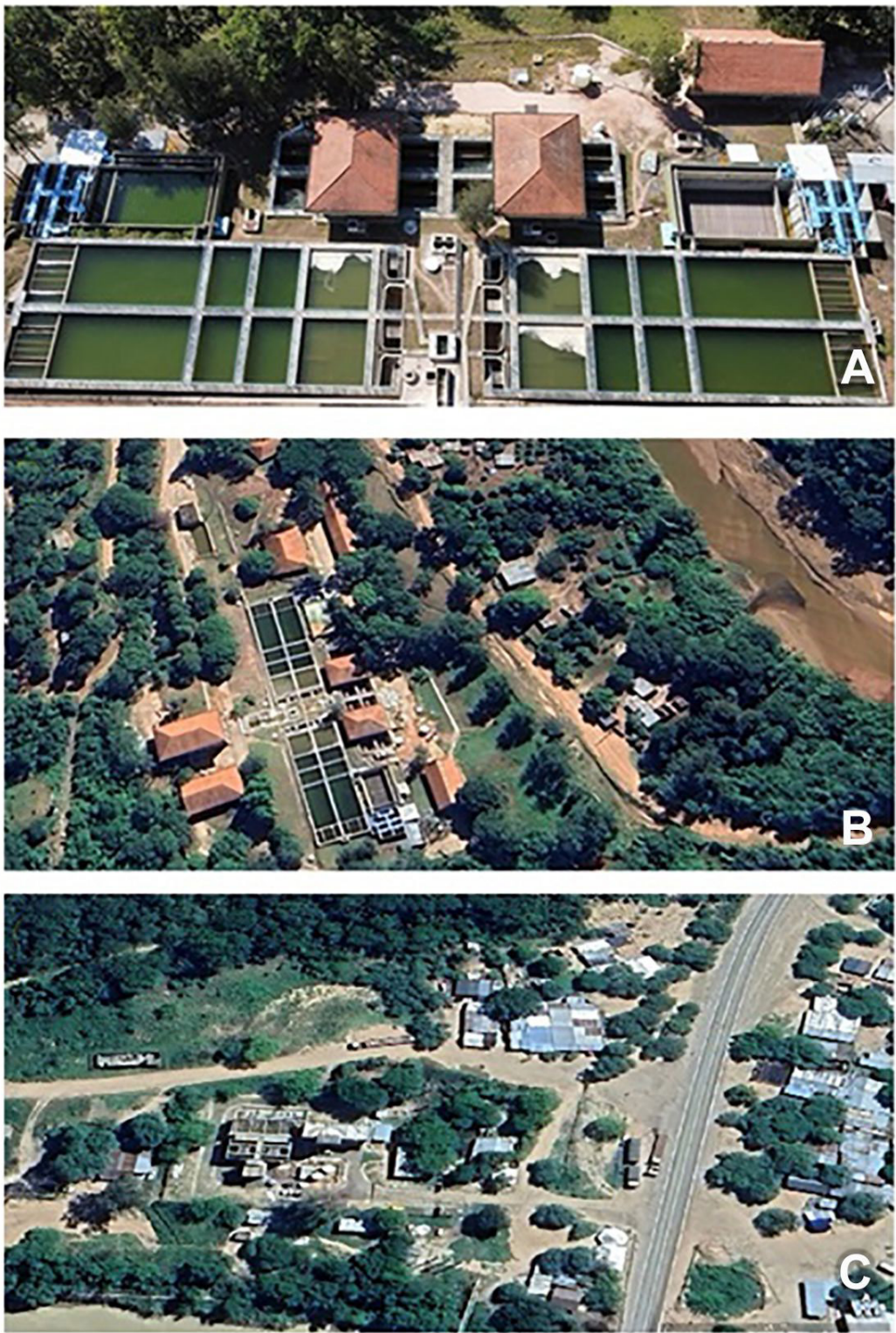


Figura 2. Imágenes satelitales de las plantas potabilizadoras: **A** PP Tartagal, **B** PP Itiyuro y **C** PP Embarcación.

refrigerados hasta su análisis. Se determinó *in situ* (con sensor multiparamétrico Orion) las variables temperatura (°C), conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$), pH y oxígeno disuelto (mg/L), además la turbidez, con turbidímetro marca HACH (NTU). Los parámetros como sólidos totales y en suspensión (mg/L), color verdadero (UPTCo), nitratos, nitritos y amonio ($\text{mg N}/\text{L}$), fósforo reactivo soluble ($\text{mg P-PRS}/\text{L}$), demanda química de oxígeno ($\text{mg O}_2/\text{L}$), alcalinidad ($\text{mg CaCO}_3/\text{L}$) y dureza ($\text{mg CaCO}_3/\text{L}$) se determinaron en laboratorio, según técnicas estandarizadas de APHA (American Public Health Association) (2005). Las muestras para recuentos biológicos se tomaron en frascos de 250 mL preservadas con lugol acidificado y refrigeradas hasta su análisis. Los conteos se realizaron, después de la sedimentación por 24 h, en cámaras combinadas usando un microscopio invertido Zeiss 40 CFL siguiendo a Utermöhl (1958). La identificación de especies se realizó utilizando bibliografía especializada como por ejemplo Komárek & Anagnostidis (1999), Komárková-Legnerová (1969); Komárek (2014), Krammer & Lange-Bertalot (1986), entre otras.

La eficiencia de tratamiento (% Reducción) se calculó para los parámetros: turbidez, color verdadero (CV), DQO, cianobacterias, clorófitas, diatomeas y fitoplancton en función de la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Reducción: } \frac{(\text{Parámetro en Entrada PP} - \text{Parámetro en Salida PP}) \times 100}{\text{Parámetro en Entrada PP}}$$

En el caso de las muestras que presentaban valores superiores para alguna de las variables consideradas en la salida de la planta, en comparación a la entrada, se consideró que la remoción fue del 0%. Las muestras que no presentaban abundancias fitoplanctónicas (0 cels/mL) ni en el ingreso ni en el egreso de la planta, no fueron consideradas en el cálculo de remoción.

Análisis Estadísticos: Los análisis estadísticos se realizaron con el programa Infostat (Di Renzo et al., 2010). Los datos

analizados no cumplían los requisitos de normalidad y/o homogeneidad de varianzas por lo que se utilizó la prueba de Kruskal Wallis para comparar las 3 plantas potabilizadoras. En el caso de la comparación de valores de entrada y salida de una misma planta, esta se realizó con el test de Mann Whitney.

RESULTADOS

Variables físicas y químicas

Las muestras recolectadas previas al tratamiento en las 3 plantas potabilizadoras mostraron resultados similares en cuanto a pH, con medias de 7.78 (± 0.5), 7.5 (± 0.49) y 7.77 (± 0.28) para entrada en Embarcación (EE), entrada en Itiyuro (EI) y entrada en Tartagal (ET) respectivamente, manteniéndose en el grado de la neutralidad. En cuanto a la conductividad eléctrica, los valores registrados en Tartagal fueron superiores a las demás, siendo diferentes estadísticamente ($H=8.24$, $p=0.0163$). El contenido de nitrógeno soluble (NIS) también presentó diferencias significativas entre las plantas siendo mayor en la EI ($H=6.65$, $p=0.0356$), mientras que el PPRS no presentó diferencias significativas. Por su parte, los valores de turbidez fueron de 79.9 (± 171.47 NTU) en la EE, de 63.27 (± 135.6 NTU) en ET y 13.91 (± 19.04 NTU) en EI. Los valores de los demás parámetros físicos y químicos se presentan en el Suplemento.

En cuanto a los valores reportados en las muestras posteriores a los tratamientos de potabilización, se observó que en la planta Embarcación, el único parámetro que difirió estadísticamente en la salida con respecto al ingreso de la misma planta fue la turbidez ($U=113$, $p=0.0252$), en el caso de la planta Itiyuro se observaron diferencias en la turbidez ($U=441$, $p \leq 0.001$) y la concentración de NIS ($U=379$, $p=0.021$); y por último en la planta Tartagal ninguno de los parámetros reportó diferencias significativas luego del tratamiento. Los datos se presentan en la Tabla 1 (en color rojo los que superan los límites establecidos por el Código alimentario argentino, CAA).

Planta Potab.	Variable	Unidad	Media	DE	Mínimo	Máximo
Salida Embarcación (SE)	pH		7,64	0,39	6,75	8,11
	CE	µs/cm	402,42	142,3	192,6	605
	Turbidez	NTU	4,03	4,38	0,71	14,4
	Dureza	mgCaCO ₃ /L	362,87	481,4	110,4	1874,4
	Alcalinidad	mgCaCO ₃ /L	77,7	47,87	23,28	156
	NIS	mg/L	1,33	0,45	0,71	2,24
	PPRS	mg/L	0,22	0,31	0,01	1,04
	DQO	mgO ₂ /L	101,94	42,5	3,25	170
	CV	UPtCo	7,75	4,52	2	15
Salida Itiyuro (SI)	pH		7,53	0,49	6,64	8,24
	CE	µs/cm	677,23	176,7	285,4	937,5
	Turbidez	NTU	2,27	3,5	0,46	17
	Dureza	mgCaCO ₃ /L	422,7	612,07	108	295
	Alcalinidad	mgCaCO ₃ /L	115,98	58,23	28	209
	NIS	mg/L	0,83	0,24	0,51	1,33
	PPRS	mg/L	0,17	0,29	0,02	1,04
	DQO	mgO ₂ /L	129,66	112,07	1,73	560,14
	CV	UPtCo	21,7	38,65	2	173
Salida Tartagal (ST)	pH		7,69	0,35	7,02	8,26
	CE	µs/cm	1123,6	185,2	622,1	1262
	Turbidez	NTU	4,88	4,54	1,5	17,2
	Dureza	mgCaCO ₃ /L	573,7	748,2	79,15	267
	Alcalinidad	mgCaCO ₃ /L	147,2	70,06	80	258
	NIS	mg/L	1,1	0,43	0,44	1,84
	PPRS	mg/L	0,07	0,07	0,01	0,23
	DQO	mgO ₂ /L	126,12	102,06	1,38	357
	CV	UPtCo	7,8	3,7	3	15

Tabla 1: Valores promedio (Media), desviación estándar (DE), mínimo (Min) y máximo (Max) de parámetros físicos y químicos medidos en el agua de salida de tres plantas potabilizadoras: Salida Embarcación (SE), Salida Itiyuro (SI) y Salida Tartagal (ST). CE: conductividad eléctrica; NIS: nitrógeno inorgánico soluble; PPRS: fósforo reactivo soluble; DQO: demanda química de oxígeno; CV: color verdadero. *Los valores que superan los límites establecidos por el Código Alimentario Argentino se indican en color rojo.

En Fig. 3 se muestra la variación entre entrada y salida de cada planta para algunas variables físicas y químicas.

Tratamiento de variables físicas y químicas:

En el caso de la PP Itiyuro, la menor eficiencia de tratamiento se observó para la DQO, con una reducción máxima de solo el 48% y ausencia de reducción en el 56% de las muestras (Tabla 2). En cuanto a la turbidez, el 15% de las muestras a la salida presentaron valores superiores a los recomendados por el

CCA, mientras que para el CV el 62% de las muestras superaron los límites establecidos.

En la PP Embarcación, nuevamente la DQO fue el parámetro más crítico, con una reducción máxima de apenas el 21%. Además, el 71% de las muestras presentaron valores de CV por encima del límite propuesto.

Por último, en la PP Tartagal los valores máximos de reducción para las tres variables fueron inferiores a los registrados en las demás plantas, siendo la DQO la de menor reducción. En este caso, ninguna muestra mostró valores

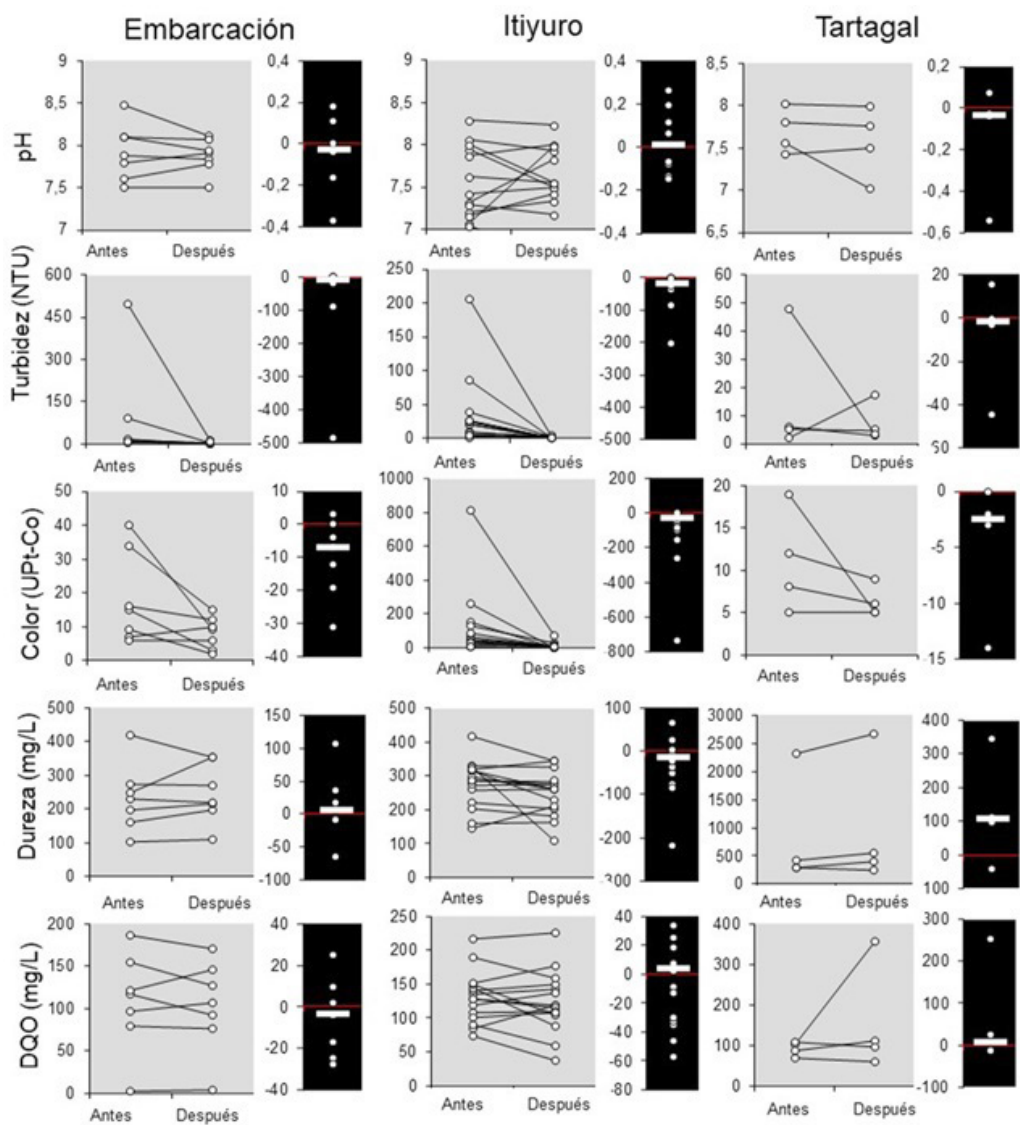


Figura 3. Comparación de los valores de parámetros físicos y químicos en el agua antes y después del tratamiento en las plantas potabilizadoras: Tartagal, Itiyuro y Embarcación.

Variables / %Reducción	Itiyuro		Embarcación		Tartagal	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Turbidez	0	99,02	3,23	98,02	0	93,08
CV	0	99,23	0	80	0	73,68
DQO	0	48,57	0	21,17	0	13,07

Tabla 2. Porcentajes mínimos y máximos de reducción alcanzados para los parámetros de turbidez (NTU), color verdadero (CV, UPT-Co) y demanda química de oxígeno (DQO, mg O₂/L) en las plantas potabilizadoras Itiyuro, Embarcación y Tartagal.

de CV en la salida por encima de lo propuesto por el CAA, aunque debe considerarse que los valores de ingreso para CV y turbidez fueron menores que los observados en Itiyuro y Embarcación.

Variables biológicas

En cuanto a los grupos fitoplanctónicos, se observó que en los ingresos de las plantas potabilizadoras Embarcación y Tartagal predominaron las cianobacterias con una media de 527 cels/mL (± 796 cels/mL) y 11309 (± 15878 cels/mL) respectivamente, mientras que en la EI predominaron las diatomeas con una media de 415 (± 866 cels/mL). En todos

los casos, las clorófitas nunca superaron las 250 cels/mL.

En Fig. 4 se muestran las variaciones de las variables biológicas consideradas, antes y después del tratamiento en cada planta potabilizadora.

En cuanto a la eficiencia de tratamiento para fitoplancton total, se observó que la Planta Potabilizadora Itiyuro no logró reducir la presencia de este grupo en el 43 % de las muestras analizadas. En el caso de la PP Embarcación, no se observó reducción en el 50 % de las muestras, mientras que en la PP Tartagal fue del 25 % (Tabla 3).

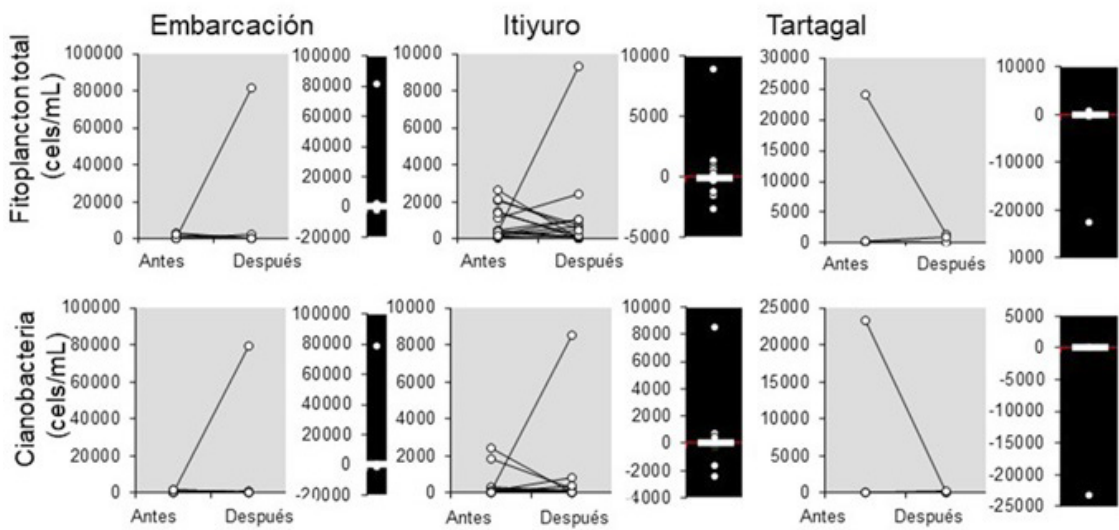


Figura 4. Variación de los parámetros biológicos (abundancia de cianobacterias y fitoplancton total) antes y después del tratamiento en las plantas potabilizadoras Tartagal, Itiyuro y Embarcación.

	Itiyuro		Embarcación		Tartagal	
Variables	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
%Reducción						
Cianobacterias	0	100	0	100	0	100
Clorófitas	0	100	0	100	0	100
Diatomeas	0	100	0	100	0	100
Fitop. Total	0	100	0	100	0	100

Tabla 3. Porcentajes mínimo y máximo de reducción de algas y cianobacterias en las plantas potabilizadoras Itiyuro, Embarcación y Tartagal.

DISCUSIÓN

En el departamento General San Martín el acceso a agua segura sigue siendo una deuda desde hace décadas. Históricamente, la zona registra problemas en el suministro, presentando cortes del servicio recurrentes, que en ocasiones duran días y es entonces apoyado por la repartición de agua en camiones cisterna. Sumado a lo anterior, la zona registra unas de las temperaturas más elevadas de la provincia, alcanzando fácilmente los 45°C en verano y una pobreza estructural importante, en donde el 28% no tiene aún acceso a agua de red en sus domicilios (INDEC; 2022).

Las principales plantas potabilizadoras de la zona, utilizan sistemas convencionales de tratamiento para el agua cruda mediante procesos de clarificación física y química (coagulación, floculación, sedimentación y filtración), sin embargo, en función de nuestros resultados, estos tratamientos no son suficientes.

En el caso de los parámetros físicos y químicos analizados, la turbidez es uno de los más preocupantes. Martínez Orjuela *et al.*, 2020 demostraron que existe una correlación lineal positiva de media a fuerte entre la turbidez y los coliformes fecales. Es por esto que el parámetro podría ser considerado como un indicador rápido dentro de la evaluación operacional de una planta potabilizadora. Por otro lado, elevados valores de turbidez conllevan mayores costos de cloración, encareciendo el servicio. En función del código alimentario argentino (CAA, 2007), el agua potable no debe superar los 3 NTU de turbidez y las 5 UPTCo. Si bien en función de los cálculos de tratamiento las plantas potabilizadoras consideradas logran remover un buen porcentaje del material particulado sigue siendo insuficiente; considerando las 3 PP del norte de Salta, se observó que el 76% de las muestras superaron el nivel permitido de color y el 32% el nivel de turbidez en la salida del tratamiento.

Las floraciones de algas y cianobacterias son eventos comunes en las últimas décadas

en cuerpos de agua de Salta que luego se utilizan para abastecimiento (Alvarez Dalinger, *et al.*, 2023). Sin embargo, la determinación de cianobacterias o sus posibles cianotoxinas no se encuentra requerida por las reglamentaciones nacionales en el CAA. En Salta la mayoría de las plantas potabilizadoras no tienen tratamiento especial para remoción de estas floraciones. Un ejemplo de tratamiento en la provincia es la planta potabilizadora de Campo Alegre, en donde las pruebas piloto indican que los tratamientos con ozono pueden ser eficientes en la remoción de fitoplancton (Salusso & Moraña, 2023). En el caso de la planta Itiyuro, hace pocos años se instaló en la misma un sistema de remoción de algas por sedimentación, aunque en la actualidad no funciona plenamente. Sumado a lo anterior, en la salida de la planta potabilizadora Itiyuro se han reportado resultados positivos para microcistinas, que pueden ser cancerígenas, y para lo cual ninguna de las plantas potabilizadoras de la provincia tiene tratamiento (Alvarez Dalinger *et al.*, 2022). Algunas alternativas interesantes a considerar a futuro son los tratamientos biológicos o de biofiltración (Arango Ruiz, 2004) o tratamientos químicos, entre otros.

En función de análisis anteriores realizados en el Laboratorio de Calidad de Aguas, en convenio con el ente regulador de los servicios públicos (ENRESP), se han emitido en varias oportunidades alertas y restricciones en el uso del agua por parte de la población. Por ejemplo, en el mes de julio de 2023, la resolución 994/23 del ENRESP recomienda el uso del agua de red solo para higiene y limpieza y no para consumo, producto de la cantidad de cianobacterias reportadas en muestras de agua post tratamiento. Esto marca la importancia de continuar con monitoreos frecuentes que permitan dar alertas tempranas.

El hecho de reportar valores de algas, cianobacterias, turbidez, color y DQO mayores en las salidas (post tratamiento) que, en las entradas, puede indicar que, durante el tiempo de residencia del agua en las plantas, ciertos factores generan que los parámetros empeoren. Esto puede deberse a una serie

de causas entre las que podrían encontrarse filtros colmatados o en malas condiciones, como así también las cañerías y tanques que almacenan el agua durante el tratamiento. La proliferación de algas y cianobacterias puede darse bastante rápido, si el tiempo de retención es elevado y los decantadores o tanques se encuentran sin cubierta, expuestos al sol y a elevadas temperaturas típicas de la zona y si además existen deficiencias de limpieza. Por otro lado, también podría considerarse el ingreso de agua cruda por fugas internas o válvulas defectuosas, ingreso de sedimentos y/o algas desde tanques de almacenamiento contaminados, o una dosificación incorrecta de coagulantes. En resumen, estos resultados indicarían una falta de mantenimiento en las tres plantas potabilizadoras estudiadas, lo cual debe identificarse y solucionarse.

CONCLUSIÓN

La falta de agua de calidad es uno de los problemas más serios del norte salteño. Los tratamientos de potabilización actuales no son suficientes para eliminar los contaminantes físicos, químicos y biológicos del agua tratada. En consecuencia, varios parámetros medidos en muestras post tratamiento superan los niveles exigidos por el CAA. De todos estos, los más preocupantes son la turbidez, DQO y la abundancia de cianobacterias potencialmente tóxicas (aunque este último no se encuentre legislado). Los muestreos periódicos permiten detectar estas anomalías y alertar a la empresa prestataria para tomar medidas, y a la población que es abastecida. Ante nuevos desafíos en la contaminación del agua, como las floraciones de algas, cianobacterias y la producción de toxinas, es necesario adecuar los tratamientos y tecnologías, para asegurar agua segura.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad de Salta, al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, y al Ente Regulador de los Servicios Públicos de Salta (ENRESP) por colaborar en la realización de los muestreos en las plantas potabilizadoras.

REFERENCIAS

- Alvarez Dalinger, F. S., V. L. Lozano, C. N. Borja, L. B. Moraña, & M. M. Salusso. (2023). Short-Term Meteorological Conditions Explain Cyanobacterial Blooms in a Tropical Reservoir. *Water*, 15(2), 302. <https://doi.org/10.3390/w15020302>
- Alvarez Dalinger, F.S., L.B. Moraña, & M. M. Salusso. (2022). Cianobacterias y potencial de producción de cianotoxinas en los embalses Itiyuro y Limón y planta potabilizadora Itiyuro (Salta, Argentina). 8° Congreso Argentino de la Sociedad de Toxicología y Química Ambiental SETAC. Mar del Plata, Argentina.
- American Public Health Association (APHA), American Water Works Association, & Water Environment Federation. (2005). Standard methods for the examination of water and wastewater (21a ed.).
- Arango Ruiz, Á. (2004). La biofiltración, una alternativa para la potabilización del agua. *Revista Lasallista de Investigación*, 1(2), 61-66.
- Código Alimentario Argentino (CAA). (2007). Artículo 982, Resolución 8/2007 y 196/2007.
- Di Rienzo, J., M. Balzarini, L. Gonzalez, F. Casanoves, M. Tablada, & C. W. Robledo. (2010). *Infostat: software para análisis estadístico*. Grupo InfoStat
- Fernández, A. M. C., I. M. Navarro, Á. J. Gallego, G. R. Kuhn, S. P. Sánchez, & A. I. P. Ortega. (2005). Cianobacterias y cianotoxinas: Necesidad de su control en el agua de consumo humano. *Revista de Salud Ambiental*, 5(2), 137-141.
- García, S. I. (2009). Cianobacterias y cianotoxinas, impactos sobre la salud humana. http://www.ataonline.org.ar/bibliotecavirtual/documentos_utilies/Cianobacterias_y_Cianotoxinas.pdf
- Giannuzzi, L., M. V. Amé, D. Andrinolo, L. Bauzá, R. Benítez, E. de Tio, R. Echenique, M. Hansen, M. A. Kolman, T. Petcheneshsky, L. Rosso, M. Ruiz, G. L. Salerno, D. Sedan, A. Daniel, & A. Wunderlin. (2011). Cianobacterias como determinantes ambientales de la salud. Buenos Aires, Argentina.
- Hartshorn, J., G. Prpich, A. Upton, J. Macadam, B. Jefferson, & P. Jarvis. (2015). Assessing filter robustness at drinking water treatment plants. *Water and Environment Journal*, 29(1), 16-26. <https://doi.org/10.1111/wej.12087>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos de la República Argentina (INDEC). (2022). Censo Poblacional Nacional 2022.
- Komárek, J., & K. Anagnostidis (1999). Chroococcales. En: H. Ettl, G. Gärtner, H.

- Heynig y D. Mollenhaver. *Süßwasserflora von Mitteleuropa*, 19/1: 1-548. Gustav Fischer.
- Komárek, J. (2014). Modern classification of cyanobacteria. En N. K. Sharma, A. K. Rai, & L. J. Stal (Eds.), *Cyanobacteria: An economic perspective* pp. 21-39. Wiley-Blackwell. <https://doi.org/10.1002/9781118402238.ch2>
- Komárková-Legnerová, J. (1969). The systematics and ontogenesis of the genera *Ankistrodesmus* Corda and *Monoraphidium* gen. nov. In: B. Fott (Ed.), *Studies in Phycology*. pp. 75-144. Academia Publishing House of the Czechoslovak Academy of Sciences.
- Krammer K., & H. Lange-Bertalot (1986). Bacillariophyceae, 1. Teil: Naviculaceae. En: H. Ettl, G. Gärtner, H. Heynig, & D. Mollenhaver (eds.). *Süßwasserflora von Mitteleuropa*, Band 2/1, pp. 1-876. Gustav Fisher Verlag.
- Martínez Orjuela, M. R., J. Y. Mendoza-Coronado, B. E. Medrano-Solís, L. M. Gómez-Torres, & C. A. Zafrá-Mejía. (2020). Evaluación de la turbiedad como parámetro indicador del tratamiento en una planta potabilizadora municipal. *Revista UIS Ingenierías*, 19(1), 15-24. <https://doi.org/10.18273/revuin.v19n1-2020001>
- Merel, S., D. Walker Chicana, R. Snyder, S. Baurès, & O. Thomas. (2013). State of knowledge and concerns on cyanobacterial blooms and cyanotoxins. *Environment International*, 59, 303-327. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2013.06.013>
- Milojkovic, D., I. Trepsic, & M. Milovancevic. (2009). Assessment of physical and chemical indicators on water turbidity. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 527, 121-171. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2019.121171>
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (2019). Objetivos de Desarrollo Sostenible. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Disponible en: <https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals.htm>
- Rodríguez, M. J., G. Rodríguez, J. Serodes, & R. Sadiq. (2007). Subproductos de la desinfección del agua potable: formación, aspectos sanitarios y reglamentación. *Interciencia*, 32(11), 749-756.
- Salusso, M. M., & L. B. Moraña. (2023). Eficiencia de remoción de microalgas por tratamiento de ozono en planta piloto en un reservorio de Sudamérica. *Lilloa*, 60(1), 1-15. <https://doi.org/10.30550/j.lil/2023.60.1/2023.03.02>
- Sánchez, M. O. (2008). Subproductos de la desinfección del agua por el empleo de compuestos de cloro. Efectos sobre la salud. *Higiene y Sanidad Ambiental*, 8, 335-342.
- Sedan, D., & D. Andrinolo. (2017). Cianobacterias y cianotoxinas. Efectos en la salud humana. En *Cianobacterias como determinantes ambientales de la salud* Vol. 4, pp. 67-78. Ministerio de Salud de la Nación.
- Utermöhl H. (1958). Zur Vervollkommenung der quantitativen Phytoplankton-Methodic. *Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie: Mitteilung*, 9, 1-38. <https://doi.org/10.1080/05384680.1958.11904091>
- Water, U. (2020). Water and climate change. The United Nations World Water Development Report.
- World Health Organization (WHO). (2008). Guidelines for drinking-water quality: second addendum. Vol. 1, 3rd ed. Recommendations. World Health Organization. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241547611>
- World Health Organization (WHO). (2022). Guidelines for Drinking-water Quality (4th ed.). <https://www.who.int/publications/i/item/9789240045064>

SUPLEMENTO

Planta Potab.	Variable	Unidad	Media	DE	Min	Max
Embarcación (EE)	pH		7,78	0,5	6,81	8,48
	CE	µs/cm	496,6	369,4	173,7	1334,1
	Turbidez	NTU	79,93	171,5	1,16	498
	Dureza	mgCaCO ₃ /L	213,7	107,8	74,98	418
	Alcalinidad	mgCaCO ₃ /L	90,02	63,92	34,92	208,6
	NIS	mg/L	0,91	0,28	0,55	1,48
	PPRS	mg/L	0,09	0,03	0,06	0,13
	DQO	mgO ₂ /L	96,26	63,96	1,49	186,7
	CV	UPtCo	17,38	12,72	6	40
Itiyuro (EI)	pH		7,5	0,49	6,67	8,3
	CE	µs/cm	678	134,78	450,1	900,3
	Turbidez	NTU	63,27	135,63	0,4	535
	Dureza	mgCaCO ₃ /L	271,8	72,08	146	419
	Alcalinidad	mgCaCO ₃ /L	122,76	65,33	30	238,6
	NIS	mg/L	1,08	0,036	0,55	1,79
	PPRS	mg/L	0,1	0,08	0,04	0,38
	DQO	mgO ₂ /L	131,46	37,57	72,8	217,86
	CV	UPtCo	118	198,6	3	812
Tartagal (ET)	pH		7,77	0,28	7,43	8,06
	CE	µs/cm	915,72	287,37	583,5	1158
	Turbidez	NTU	13,9	19,04	1,99	47,7
	Dureza	mgCaCO ₃ /L	297,65	78,32	235	430,1
	Alcalinidad	mgCaCO ₃ /L	127,6	73,74	34	232,8
	NIS	mg/L	0,7	0,16	0,49	0,82
	PPRS	mg/L	0,18	0,22	0,02	0,55
	DQO	mgO ₂ /L	95,68	18,51	68,6	113,13
	CV	UPtCo	11,6	5,41	5	19

Parámetros físicos y químicos medidos en el agua previo al tratamiento en cada planta potabilizadora: Embarcación (EE), Entrada Itiyuro (EI) y Entrada Tartagal (ET). Valores promedio (Media), desviación estándar (DE), mínimo (Min) y máximo (Max). CE: conductividad eléctrica; NIS: nitrógeno inorgánico soluble; PPRS: fósforo reactivo soluble; DQO: demanda química de oxígeno; CV: color verdadero.

REVISORES

La Revista Ciencias Naturales agradece a los siguiente revisores por su tiempo, compromiso y valiosas contribuciones, fundamentales para mejorar la calidad del contenido del Vol. 3 (2025):

Ana Zelarayán

Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Salta. Salta.

Adrián M. Jarsun

Escuela de Biología, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Salta. Salta.

Cristina Janet Chambi

Escuela de Biología, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Salta. Salta.

Esteban Meza Torres

Fundación Miguel Lillo, Unidad Ejecutora Lillo - CONICET. San Miguel de Tucumán, Tucumán.

Gustavo Delucchi

Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata. Buenos Aires.

Hernán Maturo

Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Rosario. Santa Fe.

Marcela Hernández

Fundación Miguel Lillo, San Miguel de Tucumán, Tucumán.

María de los Ángeles Taboada

Fundación Miguel Lillo, Unidad Ejecutora Lillo - CONICET, Tucumán.

Natalia R. Banegas

Instituto de Investigación Animal del Chaco Semiárido (IIACS), Centro de Investigaciones Agropecuarias - Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Facultad de Agronomía, Zootecnia y Veterinaria, Universidad Nacional de Tucumán.

Paula Lililana Narváez

Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales, CCT - CONICET. Mendoza.

Stefan Wuertz

Singapore Centre for Environmental Life Sciences Engineering (SCELSE), Nanyang Technological University.

Teresita Ruíz

Escuela de Geología, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Salta. Salta.

Facultad de Ciencias Naturales · Universidad Nacional de Salta

Revista Ciencias Naturales

<https://revistas.natura.unsa.edu.ar/index.php/rfcn>

rev.cs.naturales@unsa.edu.ar

rev.cs.naturales@gmail.com

Universidad Nacional de Salta

Facultad de Ciencias Naturales

Av. Bolivia 5150 (A4408FVY), Salta - Argentina

<http://natura.unsa.edu.ar/web/index.php>